Studien über den Phosphorstoffwechsel des wachsenden Schweines

Helmut Bootz

1962

Aus dem Institut für Physiologie und Ernährung
der Tiere der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München
Vorstand: Professor Dr. Dr. J. Brüggemann

STUDIEN ÜBER DEN PHOSPHORSTOFFWECHSEL DES WACHSENDEN SCHWEINES

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der veterinärmedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

von

Helmut Bootz

aus

Sulz am Neckar

München 1962

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. K. Ullrich

Referent: Prof. Dr. Dr. Johs. Brüggemann

Tag der Promotion: 27. 2. 1962

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

UNI-Druck, München 13, Amalienstraße 85

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	Einleitung	1
II.	Literatur	2
	A) Phosphorbedarf der Schweine	2
	B) Der Phytin-Phosphor und seine Verdaulichkeit	5
	C) Die Verdaulichkeit anderer Phosphorverbindungen (Methodisches u. Ergebnisse)	9
	Arbeitsplan	17
III.	Versuchstiere und Methodik	19
	Versuchstiere und Rationsgestaltung	19
	Methodik zur Ermittlung des Phytingehaltes in Futtermitteln und im Kot	23
	Aufstellung einer Eisen-Eich-Kurve	25
	Durchführung der Versuche, sowie die chemische und physikalische Phosphorbestimmung	28
IV.	Ergebnisse	31
	Methodisches	31
	Zur Ermittlung des Phosphor-Resorptions-Koeffizienten	31
	Zur Bestimmung des Phosphor-Resorptions-Koeffizienten bei Futtermitteln mit überwiegendem Phytin-Phosphor-Anteil	34
	Zur Ermittlung des Phosphoransatzes beim wachsenden Schwein	35

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

		Seite
V.	Diskussion	36
	Methodisches	37
	Der Phosphor-Resorptions-Koeffizient aus verschiedenen Rationen	38
	Versuche zur Phosphor-Ausnützung aus phytinhaltigen Verbindungen	42
VI.	Zusammenfassung	44
	Tabellen	46
	Literaturverzeichnis	51
	Lebenslauf	57

I. EINLEITUNG

Das Schwein scheidet das Mineral Phosphor wie alle Nutztiere sowohl über die Niere als auch über den Verdauungstrakt aus. Nach der einfachen Bilanzmethode ist die über die Niere erfolgende Phosphor-Ausscheidung chemisch ohne Schwierigkeiten zu erfassen. Dies trifft jedoch für die aus dem Stoffwechsel in das Intestinum ausgeschiedene Phosphor-Fraktion nicht zu, da sich dieser endogene Kot-Phosphor-Anteil mit dem unverdaut gebliebenen Nahrungs-Phosphor vermischt. Dieser Umstand verhindert nicht nur eine exakte Ermittlung des Phosphor-Resorptions-Koeffizienten, sondern läßt auch zwangsläufig eine genaue Bestimmung des Phosphor-Ansatzes nicht zu. Desgleichen erlaubt diese Methode keine Aussage über die Größe der Beteiligung von Niere und Darm bei der Phosphor-Exkretion.

Herr Professor Dr. Dr. Johannes Brüggemann stellte mir die Aufgabe, unter Zuhilfenahme der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode bei wachsenden Schweinen die Phosphor-Verdaulichkeit verschiedener Futterrationen und den daraus resultierenden Phosphor-Ansatz je Kilogramm Lebendgewichtszuwachs zu ermitteln. Ferner sollten Versuche über die Verdaulichkeit des Phytin-Phosphors beim Schwein durchgeführt werden.

II. LITERATUR

Hier sollen nur Arbeiten zur Sprache kommen, die sich mit folgenden Problemen befassen:

A) Phosphorbedarf der Schweine

B) Phytinphosphor und seine Verdaulichkeit

C) Feststellung der Verdaulichkeit verschiedener Phosphorverbindungen

D) Resorption und Verwertung des Phosphors beim Schwein

A) Phosphorbedarf der Schweine

Bei der Betrachtung des Phosphor-Stoffwechsels ist zunächst zu berücksichtigen, daß dieses Mineral im Tierkörper zum Calcium eine vom Alter unabhängige Beziehung besitzt. Dies zeigt sich bereits aus den Calcium- und Phosphoranalysen ganzer Schweine. Nach den Ergebnissen von WENIGER und FUNK (46) stehen uns hierüber Werte zur Verfügung, die in folgender Tabelle zusammengefaßt sind:

Tabelle 1

Tiere	Gesamt-Körper		Skelett		übriger Körper	
	g Ca	g P	g Ca	g P	g Ca	g P
Neugeboren	12	7				
6 - 7 kg	52	34	50	24	2	10
20 kg	150	95	145	70	5	25
30 kg	241	141	235	114	6	27
40 kg	328	191	322	155	6	36
100 kg	780	462	773	347	7	88

Hieraus ist zu entnehmen, daß das Calcium : Phosphor-Verhältnis beim Neugeborenen 1, 7 : 1 beträgt und sich in den verschiedenen Altersstufen bis zum schlachtreifen Schwein nicht verändert.

Dem Organismus ist daher daran gelegen, beide Mineralien in einem etwa ähnlichen Verhältnis zugeführt zu erhalten, wie es in den Geweben vorgefunden wird. Da der Stoffwechsel in Geweben junger Tiere intensiver abläuft als in denen älterer, wird folglich zunächst ein engeres, später ein weiteres Calcium : Phosphor-Verhältnis den Stoffwechselbedingungen am besten gerecht werden. BECKER (2) gibt deshalb für Schweine ein Calcium : Phosphor-Verhältnis von 2 : 1 - 1 : 2 an, während WÖHLBIER und KIRCHGESSNER (48) einen Calcium : Phosphor-Quotienten von 1,1 : 1 bis 2,3 : 1 empfehlen. Bei diesen Relationen haben die Autoren keinen signifikanten Unterschied in Gewichtszunahme und Futterverwertung festgestellt.

Es besteht Übereinstimmung, daß für den Stoffwechsel beider Mineralien das Vitamin D Bedeutung hat, besonders wenn die Zufuhr von Calcium und Phosphor von der optimalen Relation abweicht. Als Tagesbedarf hält BECKER (2) für Schweine 400 Internationale Einheiten (IE) Vitamin D_3 für ausreichend. Im allgemeinen werden die Bedarfszahlen je 100 kg Lebendgewicht angegeben: Ferkel bis 8 Wochen = 1000 IE, Zucht- und Mastschweine = 800 IE, tragende Mutterschweine = 650 IE, säugende Mutterschweine = 800 IE.

Über den Bedarf an Phosphor in der Nahrung der Schweine liegen nur wenige verwertbare Angaben vor. WÖHLBIER und KIRCHGESSNER (48) fordern 7 - 10 g Phosphor je Tier und Tag. Dies deckt sich in etwa mit den Angaben in NUTRIENT REQUIREMENT (32), wo 5,4 g bei 11 kg Körpergewicht bis 11,2 g bei 100 kg Körpergewicht empfohlen werden. BECKER (2) hält bei der Schnellmast junger Schweine 4 - 7 g Phosphor-Zufuhr für ausreichend, wobei er eine 50 %ige Verwertung den Berechnungen zugrunde gelegt hat. Letzterer gibt für das Ansatzvermögen und den Ansatz von Calcium und Phosphor beim veredelten Landschwein in verschiedenen Wachstumsstadien folgende Werte an:

Tabelle 2

Ansatzvermögen je 100 kg Lebendgewicht			wirkl. Ansatz Gewicht tgl. Zunahme		(Mittelwerte) Ansatz Tier + Tag		von Ca und P je kg Zunahme	
Gewicht	Ca	P			Ca	P	Ca	P
kg	g	g	kg	g	g	g	g	g
25	12,8	7,2	20/30	350	3,2	1,8	9,1	5,0
35	10,0	5,7	30/40	400	3,5	2,0	8,7	5,0
70	7,0	4,2	40/100	650	4,9	2,9	7,5	4,5

Dies bedeutet, daß bei den Tieren in jungem Alter der Ansatz relativ am höchsten ist. Die Retention zeigt in den Versuchen von BECKER (2) im Gegensatz zu anderen Autoren bis zum Gewicht von 100 kg keinen allzu starken Abfall. Zwischen 20 und 100 kg Lebendgewicht ist der Phosphor-Bedarf je kg Zunahme hiernach nur unbedeutend kleiner geworden. Es mag sein, daß es sich bei sehr frühreifen Rassen mit hohem Fettansatz anders verhält. In der Mastperiode bis etwa 80 kg sind Zunahmen von 600 - 650 g pro Tag fast reiner Fleischansatz, wogegen stärkeres Wachstum im allgemeinen mit höherem Fettansatz einhergeht. Dies erklärt, daß bei diesen höheren Zunahmen der Mehrverbrauch von Phosphor nicht mehr linear zum Zuwachs verläuft.

Dagegen vertreten WEISER und ZAITSCHECK (45) die von vielen anderen Autoren nachgedruckte Ansicht, daß mit zunehmendem Alter der Calcium- und Phosphoransatz bezogen auf 100 kg Lebendgewicht beträchtlich abnimmt. In der folgenden Tabelle 3 sind deren Werte zusammengefaßt. Hieraus ergibt sich nach diesen Autoren ein allerdings schon 1928 ermittelter Phosphor-Bedarf, der mit den heute anerkannten Werten erheblich differiert.

Tabelle 3

Calcium- und Phosphoransatz des Schweines in verschiedenen Lebensaltern (nach WEISER und ZAITSCHECK):

Alter Wochen	Lebendgewicht	täglicher Ansatz pro 100 kg Lebendgewicht	
		Ca g	P g
16	38, 6	24, 9	11, 8
16	39, 2	23, 2	11, 5
20	45, 0	21, 0	9, 8
20	46, 3	19, 4	10, 1
25	48, 0	9, 2	6, 2
25	49, 5	8, 3	3, 9
28	57, 5	7, 2	3, 5
28	58, 1	7, 6	2, 9

B) Der Phytin-Phosphor und seine Verdaulichkeit

In der Schweinefütterung werden in großem Umfang Samen und Körnerfrüchte verwendet, deren Phosphor-Gehalt oft zu 50 und mehr Prozent als Inosit-Hexa-Phosphorsäureester (Phytin) vorliegt. Es ist deshalb von Interesse, bevor das Problem der Phosphorresorption aus diesen Verbindungen näher behandelt wird, einiges über die Chemie des Phytins, seine Verwertbarkeit und die Möglichkeiten seiner analytischen Bestimmung zu erfahren.

Chemie des Phytins:

ANDERSON (1) isolierte als erster durch partiellen und enzymatischen Abbau von Weizenkleie die Mono- und die Triphosphorsäureester des Inosits. Die wichtigste Verbindung dieser Stoffgruppe ist das unter dem Namen Phytin bekannte Ca-Mg-Phytat mit der Summenformel $C_6H_6P_6O_{24}\,Ca_5Mg \cdot 3H_2O$. In dieser Form ist die Phytinsäure in der Natur vorallem in den pflanzlichen Körnern und Samen am stärksten verbreitet. Die ebenfalls vorkommenden K- und Na-Salze sowie die freie Säure treten demgegenüber in ihrer mengenmäßigen Bedeutung zurück. In der Nomenklatur werden alle Salze der Inosithexaphosphorsäure als Phytin bezeichnet.

Es mag verwundern, daß die Erforschung des Phytins erst in verhältnismäßig neuer Zeit aufgegriffen worden ist. Abgesehen von den analytischen Schwie-

rigkeiten lag das vor allem daran, daß es in der menschlichen Ernährung eine verhältnismäßig geringe Rolle spielt. Denn im Brot als dem menschlichen Hauptnahrungsmittel aus Körnern ist das Phytin durch Hefe oder Sauerteig bereits enzymatisch gespalten. Anders ist es jedoch in der tierischen Ernährung, wo vor allem monogastrischen Tieren Körnerfrüchte ohne enzymatische Vorbereitung verabfolgt werden, ohne daß diese wie auch der Mensch über eine eigene Phytase verfügen. Dies wird besonders bei der Getreideschnellmast der Schweine zu einem wichtigen Problem. BECKER (3) bezeichnet Ölrückstände und Mehlabfälle geradezu als Phytinkonzentrate. Ein Teil der Körner und Samen verfügt wohl bereits im Ruhestand über eigene Phytasen, die bei der Verdauung Phytin spalten können. Für die Phosphorverwertung aus diesem Komplex ist dies nach den Untersuchungen dieses Autors aber von unerheblicher Bedeutung. Mineralerkrankungen nach Fütterung von Mais und ähnlichen Futtermitteln wurden wiederholt festgestellt. Sie sind auf den hohen Anteil an Phytinphosphor in diesen Futtermitteln zurückgeführt worden. Aus dieser Sicht müssen die überhöhten Mineralstoffgaben an Schweine in den Maisgebieten Amerikas verstanden werden. Dort werden Mengen an Mineralstoffmischung verfüttert, die bei uns in Mitteleuropa nicht annähernd erreicht und wohl auch nicht notwendig sind (BECKER, 3).

Die Verdauung des Phytins ist eine Frage der Aktivität der Phytasen.

Wie schon kurz erwähnt, kommen diese einmal in den Vegetabilien selbst vor und haben hier für die Verdauung im Nutztier offensichtlich keine sehr große Bedeutung. Die Phytasewirkung ist im ruhenden Samen gering und tritt erst beim Keimen in Erscheinung. Folglich ist hierzu Feuchtigkeit notwendig und ein pH-Wert, der nicht größer als 5,5 ist (37).

Die Phytaseproduktion durch Mikroorganismen ist dagegen von Bedeutung, zumal sich Arten mit solcher biochemischer Leistung im Intestinum der Nutztiere befinden. Bei monogastrischen Tieren sind diese allerdings in den dem Dünndarm nachgeordneten Darmabschnitten konzentriert, so daß eine Phytinphosphorverwertung in nennenswertem Umfang nur bei solchen Tieren erfolgen kann, die über eine intensive Besiedlung verfügen. Weiterhin ist dieser Effekt an die Fähigkeit des Organismus gebunden in diesen Darmabschnitten noch über eine ausreichende Phosphorresorption zu verfügen.
Bei Wiederkäuern sind im Gegensatz zu den monogastrischen Tieren in dieser Beziehung ideale Verhältnisse gegeben wie u.a. RANN, CHENG, WISE und BURROUGHS (37) nachgewiesen haben.

Es ist das Verdienst von LENKEIT (19), als erster auf die Notwendigkeit der Phytinforschung beim Tier hingewiesen zu haben. In neuerer Zeit haben McCANCE und WIDDOWSON (28), sowie MØLLGAARD und Mitarbeiter (29) die Verhältnisse bei Mensch und Ratte studiert. Beim Schwein konnte BECKER (3) die Verdaulichkeit des Phytins als unbedeutend ermitteln, wogegen BRÜTZEL (5) Phytinphosphorverwertbarkeiten von 34 - 79 % fand.

Die Bestimmung des Phytin-Phosphors kann im Prinzip nach drei Richtungen erfolgen:

a) Feststellung der freien Phosphorsäure vor und nach Einwirkung von Phytase auf das Untersuchungsmaterial. Die Zunahme der freien Phosphorsäure entspricht dem Phytinphosphoranteil. Allerdings werden die Inosit-Mono-, Di- und Tri-Phosphorsäuren nur sehr langsam bzw. gar nicht von Phytase gespalten.

b) Bestimmung des Gesamtphosphorgehaltes und des nicht an Inosit gebundenen Phosphors. Die Differenz beider Werte liefert den Phytinphosphor.

c) Der Phosphor wird in den abgetrennten und gereinigten Metallsalzen der Phytinsäure bestimmt.

Die unter c) dargestellte Möglichkeit beruht darauf, daß die Phytinsäure durch Eisenchloridlösung gefällt wird. Das entstandene Eisen-(III) Phytat wird nun zersetzt und dann entweder der Phosphor oder das bei der Eisenphytatbildung verbrauchte Eisen kolorimetrisch bestimmt. Im einzelnen sind folgende Verfahren zur Phytinbestimmung bekannt:

Bestimmung nach EARLY (10):

Dieser Autor gibt eine titrimetrische Methode an, die darauf beruht, daß der mit Überschuß von $FeCl_3$ in Gegenwart von Natriumsulfat gefällte Niederschlag von Eisen-(III)-Phytat Eisen und Phosphor im Verhältnis 4 : 6 enthält. In der überstehenden Lösung wird das 3wertige Eisen zu 2wertigem reduziert und mit Kaliumdichromat titriert.

Bestimmung nach LEVA und RAPOPORT (20):

Hier wird die Phytinsäure mit Magnesiamixtur gefällt. Der Niederschlag, der außerdem Orthophosphat und etwas ATP enthält, wird in Säure gelöst, zur Zersetzung der ATP heiß hydrolysiert und dann bei pH-5 mit Calciumacetat gefällt. Nach Veraschung des Niederschlages wird das Orthophosphat bestimmt.

Quantitative Bestimmung nach HEUBNER und STADLER (14):

Phytinsäure läßt sich in Gegenwart von 0,6 %iger HCl und einer ebensoviel HCl enthaltenden Eisenchloridlösung von 0,05 - 0,2 % gegen Rhodanammonium als Indikator titieren, wenn die Phytinkonzentration etwa zu 0,03 % im Ausgangsvolumen von 100 ml Lösung gewählt wird. Jedes mg Eisen entspricht dann 1,19 mg Phytin-Phosphor. Die Titration ist auch ausführbar in Gegenwart von anorganischen Phosphaten oder solchen Phosphorsäureestern, die bei saurer Reaktion durch Fe nicht gefällt werden, unter der Voraussetzung, daß diese Substanzen nicht in sehr großem Überschuß gegenüber dem Phytin zugegen sind.

Verfahren nach McCANCE und WIDDOWSON (27):

Dieser Methode kommt bis heute die größte Bedeutung zu, weil sie die genauesten Ergebnisse bringt, so daß alle bekannten Autoren weiterer Verfahren ihre Ergebnisse mit dieser Methode vergleichen. Analysengang: Das zerkleinerte Material wird mit 10 - 12 Raumteilen 0,5 n HCL extrahiert und filtriert. Zu 20 ml des neutralisierten Filtrates gibt man 4 ml einer Lösung von $FeCl_3$ in HCl (0,5 mg Fe in 1 ml n-HCl). Man erhitzt 15 Minuten auf 100 ^{o} C, zentrifugiert und wäscht den Niederschlag von Eisenphytat mit 5 ml 0,16 n HCl. Nach weiterem Zentrifugieren wird der Niederschlag in 2 ml Wasser aufgeschwemmt, einige Minuten auf 100 ^{o} C erhitzt und dann mit 2 ml konzentrierter NaOH zersetzt. Man erhitzt weitere 15 Minuten, zentrifugiert den Niederschlag von $Fe(OH)_3$ ab und wäscht ihn gründlich mit Wasser. Die mit Waschflüssigkeit vereinigte Lösung von Natriumphytat wird auf ein geeignetes Volumen aufgefüllt und das Gesamt-Phosphat in einer Probe nach Veraschung bestimmt.

Verfahren nach BECKER (3):

Hier wird die Methode von McCANCE und WIDDOWSON abgeändert, indem nicht der Phosphor, sondern das Eisen aus dem Ferri-Phytat bestimmt wird. Das Verhältnis Fe : P verhält sich im Ferri-Phytat wie 1 : 2. Ein Gramm Phytin-Eisen entspricht theoretisch 1,11 g Phytin-Phosphor. Dieses Verhältnis erreichte BECKER in seinen Analysen nicht. Bei ihm waren auf 1 Gramm Eisen 1,08 g Phosphor zu errechnen. Benutzt man diesen Faktor, so liefert dieses Verfahren die gleichen Phytinphosphorwerte wie die Methode von McCANCE und WIDDOWSON.

C) Die Verdaulichkeit anderer Phosphorverbindungen (Methodisches und Ergebnisse)

a) Methodisches

Aufstellung einer einfachen Phosphorbilanz

Lange Zeit wurde die bei der Bestimmung der Hauptnährstoffe übliche Bilanzaufstellung auch zur Bestimmung der Phosphorverwertung angewandt. Diese Methode gab zwar genauen Aufschluß über die Größe der Einnahmen und der Ausscheidungen in Kot und Harn, sagte aber über den tatsächlich resorbierten Phosphor und über die wahre Verdaulichkeit des Futterphosphors nichts Zwingendes aus. Auch konnte nicht festgestellt werden, über welches Organ - Niere oder Darm - die größte Phosphorexkretion erfolgt, da man wohl den über den Harn, nicht aber den über den Darm wieder ausgeschiedenen Phosphor, also die endogene Fraktion der Gesamtphosphorausscheidung über den Kot erfassen konnte.

FORBES und Mitarb. (12) nahmen 1922 10 Milchkühe in Versuch und stellten auf dem Wege der einfachen Bilanz fest, daß bei einer Fütterung von 40,6 g P je Tier und Tag 32,6 g im Kot, 13,6 g in der Milch und 0,545 g im Harn ausgeschieden wurden. Auf Grund der in der Milch exkretierten Phosphormenge entstand bei der angeführten Kuh eine negative Bilanz. Darin lag und liegt auch der Wert dieser einfachen Methode, daß mit ihr ohne großen Aufwand eine übersichtliche Feststellung über Mangel oder Überschuß an Phosphor in der Nahrung möglich ist.

Bestimmung des endogenen Kot-Phosphors mittels Indikatoren

Soll Genaues über die Resorptions- und Exkretionsgröße ausgesagt werden, muß der Faeces-Phosphor einmal in seinen aus dem Stoffwechsel wieder in den Verdauungstrakt ausgeschiedenen endogenen und zum anderen in seinen nicht verdaulichen oder nicht verdauten exogenen Teil zerlegt werden. Zur Bestimmung des endogenen Kot-Phosphors sind verschiedene Wege möglich.

BERGEIN (4) schlug 1926 eine Indikatormethode vor, bei der im Futter ein bestimmtes Verhältnis von Nahrungsphosphor zu unresorbierbarem Eisenoxyd als Indikator eingestellt wird. Solange kein endogener Kot-Phosphor dazukommt, läßt sich durch die Abnahme des P : Fe-Verhältnisses die Phosphorresorption gut verfolgen. Nach der Auffassung von BERGEIN geht aus der Tatsache, daß P : Fe sich in der Nahrung wie 10 : 1 und im Chymus

des Dünndarms wie 7 : 1 verhält hervor, daß 30 % des Futterphosphors resorbiert worden sind. Zeigt der Chymus des Dickdarmes desselben Tieres dann ein P : Fe-Verhältnis von 9 : 1, so schließt der Autor, daß wieder 20 % Phosphor als endogener Kot-Phosphor in das Intestinum resekretiert wurden.

Da eine Trennung von endogenem und exogenem Kot-Phosphor mit chemischen Mitteln nicht möglich ist, konnte BERGEIN wohl über die Größe der Phosphorresorption in einzelnen Darmabschnitten und damit über die scheinbare Verdaulichkeit, nicht aber über das Ausmaß der Phosphorresekretion ins Intestinum eine Aussage machen.

Das gleiche gilt für eine von FOURNIER und Mitarbeiter (13) 1953 veröffentlichte Methode, wonach Titanoxyd als Indikator zur Ermittlung des Phosphor resorptionskoeffizierten herangezogen werden kann. Dabei wird in verschiedenen Darmabschnitten das P : TiO_2-Verhältnis festgestellt und der Resorptionskoeffizient ermittelt nach:

$$\frac{\text{Nahrungs-P} : TiO_2 - \text{Kot-P} : TiO_2}{\text{Nahrungs-P} : TiO_2} \times 100$$

Die Methoden von BERGEIN und FOURNIER und Mitarbeitern erlaubten aber eine getrennte Erfassung von endogenem und exogenem Kot-Phosphor nicht, so daß sie nur für die Verdaulichkeitsbestimmung solcher Stoffe verwendet werden können, deren endogener Anteil nicht über das Intestinum ausgeschieden wird.

Quantitative Bestimmung des endogenen Kot-Phosphors

a) Bei phosphorarmer und phosphorfreier Diät:

NICOLAYSEN (31) versuchte deshalb 1937 den endogenen Kot-Phosphoranteil dadurch zu bestimmen, daß er mittels phosphorfreier Diät den exogenen Kot-Phosphor-Anteil ausschaltete. Er fand bei Fehlen der exogenen Reaktion bei Ratten eine tägliche Ausscheidung von 1,7 mg endogenen Phosphor. Da aber der Organismus bei Mangel an einem essentiellen Nährstoff, somit auch bei Phosphor, seine Ausgaben herabsetzt, kann von dem erhaltenen Wert nicht unbedingt auf die Verhältnisse bei normaler P-Ernährung geschlossen werden. KJERULF-JENSEN (17) hat dies mit Hilfe der Isotopenverdünnungsmethode nachgewiesen. Er fand einerseits durch diese Methode in Übereinstimmung mit NICOLAYSEN bei phosphorfrei ernährten Ratten

eine tägliche Ausscheidung von 1,7 mg Phosphor, andererseits hat er aber festgestellt, daß die Höhe der endogenen Phosphorfraktion bei optimaler Phosphorzufuhr nicht auf eine bestimmte Höhe festgelegt werden kann.

b) Unter Verwendung radioaktiven Phosphors:

Erst die Verwendung radioaktiver Isotopen machte eine Trennung von endogenem und exogenem Kot-Phosphor möglich. Es kann hierbei sowohl eine Markierung der zu untersuchenden Verbindung am interessierenden Atom, als auch eine Kennzeichnung des Stoffwechsel-Phosphors durch parenterale Verabfolgung von P^{32} vorgenommen werden.

I. Orale Verabreichung radioaktiver Phosphorverbindungen

Diese Methode wurde zum erstenmal von CHIEWITZ und HEVESEY (8) im Jahre 1935 angewendet. Die Ausscheidung von P^{32} nach oraler Gabe von 2 mg 32-P-Phosphat betrug am ersten Tag bei Ratten im Kot 7,4 %, im Harn 5,0 % der verfütterten Menge, in den Tagen darauf fielen die Aktivitäten in Kot und Harn unregelmäßig ab und stellten sich nach etwa einer Woche auf gleichbleibende Exkretionswerte ein. Die anfängliche Aktivitätszunahme und die folgende schnelle Abnahme in den Ausscheidungen ist durch den radioaktiven Phosphoranteil bedingt, der als exogener Kot-Phosphor unresorbiert bleibt. Der Teil des zugeführten P^{32}, der resorbiert und im Körper fixiert wird, verfällt einem Austausch durch den weiterhin verfütterten inaktiven Phosphor und wird in Kot und Harn in fester Relation ausgeschieden. HEVESY (15) gibt dabei 8 Wochen als Verweildauer für P^{32} im Körper von physiologisch ernährten Ratten an.

Um den endogenen Kot-Phosphor errechnen zu können, muß ein zweites Tier in Versuch genommen werden, bei dem der im Körper verbleibende P^{32}-Anteil durch parentrale Verabreichung dieses Isotops ermittelt wird.

Um den Nachteil, den das Arbeiten mit 2 verschiedenen Tieren mit sich bringt, aufzuheben, gingen COHN und GREENBERG (9) folgendermaßen vor: Es wurde kein Parallelversuch durchgeführt, sondern dasselbe Tier nach Abklingen der durch die Fütterung bedingten Radioaktivität zum zweiten, parenteralen Versuch herangezogen. Nachdem eine Methode gefunden war, die es ermöglichte, den endogenen Kot-Phosphor zu bestimmen, gingen LOFGREEN, KLEIBER und Mitarbeiter (24) daran, auch die Resekretionsquote zu ermitteln. Dies ist derjenige Teil einer oral verabreichten

radioaktiv markierten Nahrung, der erst resorbiert, dann aber innerhalb einer bestimmten Passagezeit wieder über den Verdauungstrakt ausgeschieden wird. Die Größe der Resekretion wurde von den Autoren durch einen Vorversuch ermittelt. Als erstes ist der durch die radioaktive Caseinfütterung bedingte P^{32}-Gehalt des Blutes ermittelt und dann durch mehrmalige Injektionen von aktivem Phosphor in einem 2. Versuch an einem noch unbehandelten Tier auf gleicher Höhe gehalten worden. Dabei konnte gezeigt werden, daß während 24 Stunden 2,5 % des im Blut befindlichen radioaktiven Phosphors über die Faeces ausgeschieden wurden. Dieser Umstand besagt, daß für Berechnungen die Aktivität im Kot jeweils zu dem um 5 Stunden früher ermittelten Plasmawert in Beziehung gebracht werden muß. Bei Kälbern folgt ab der 5. Stunde post injektionem die P^{32}-Zunahme im Kot der Gleichung $r = 0,12 x - 0,57$, wobei r = die korrigierte, spezifische Aktivität des resekretierten Phosphors und x = die Zeit nach der ersten Injektion ist. Nach dieser Methode kann die Resekretionsquote jederzeit zwischen der 5. und 34. Stunde nach Verfütterung einer am P-Atom radioaktiv gezeichneten Futterkomponente bestimmt werden.

Ein Nachteil dieser verbesserten Methode liegt in dem Umstand, daß das Endergebnis von einer einmaligen Fütterung der Versuchsnahrung abhängt und somit größere Streuungen zu erwarten sind. Ohne Zweifel lassen sich die hierin begründeten Fehler vermindern, wenn die Versuchstiere auch vorher mit demselben, jedoch nicht markierten Futter ernährt wurden. Schwerwiegender ist aber, daß es schwierig, oft unmöglich ist, den Phosphor in biologischen Nährstoffen zu kennzeichnen. Bei Großtieren dürfte in Anbetracht der benötigten Futtermengen dieser Weg auch auf technische Schwierigkeiten stoßen.

2. Die Kennzeichnung des Stoffwechsel-Phosphors

HEVESY, HAHN und RIEBE (16) regten deshalb 1939 an, den endogenen Phosphor bei Resorptionsuntersuchungen durch vorheriges Markieren des Stoffwechselphosphors zu signieren. Diese Methode beruht auf dem Prinzip der dynamischen Isotopenverdünnung. Sie geht davon aus, daß gewisse Zeit nach parenteraler Injektion einer radioaktiven Phosphatlösung die spezifischen Aktivitäten des anorganischen Plasmaphosphors und des endogenen Kot-Phosphors die gleiche Größe haben müssen. Diese Gleichheit ist aber nur so lange vorhanden, als der inaktive Nahrungsphosphor vollkommen resorbiert wird. Erfolgt aber eine unvollständige Verwertung, wird die spezifische Aktivität des Kot-Phosphors durch inaktiven Futter-Phosphor gewisser-

maßen verdünnt. Sie wird also kleiner als diejenige des Plasma-Phosphors. Die Formel:

$$\frac{\text{spez. Aktivität des Kot-P}}{\text{spez. Aktivität des anorgan. Plasma-P}} \times 100$$

gibt uns prozentual den Anteil an endogenem Kot-Phosphor zur Kenntnis. Die Gültigkeit dieser Gleichung ist erst dann gegeben, wenn nach der Injektion der radioaktiven Phosphorlösung eine genügend große Zeit verstrichen ist, um eine gleichmäßige Verdünnung im ganzen Organismus ("steady-state") erreicht zu haben.

Obige Erkenntnisse konnte im Jahre 1941-42 KJERULF-JENSEN als erster bestätigen. Während er mit Ratten arbeitete, führte BUYSSE (6) 1952 Versuche mit Rindern durch. KJERULF-JENSEN fand bei Ratten die spez. Aktivität des anorganischen Plasma-Phosphors gleich derjenigen des Harn-Phosphors. Der prozentuale endogene Kot-Phosphor wird in diesem Falle berechnet nach der Formel

$$\frac{\text{spez. Aktivität des Kot-P}}{\text{spez. Aktivität des Harn-P}} \times 100$$

SEUSS (42) fand 1959 bei Schafen ebenfalls eine Übereinstimmung der spezifischen Aktivitäten von Plasma und Harn.

KLEIBER u.a. (18) und LOFGREEN und Mitarb. (21) haben 1951 und 1953 nach dem Isotopenverdünnungsverfahren bei Schafen und Rindern die wahre Verdaulichkeit von Heu-Phosphor festgestellt. Sie vollzogen die Stoffwechsel-Phosphor-Kennzeichnung durch mehrmalige, intravenöse Injektionen von radioaktiver Natriumphosphatlösung. 1954 gingen sie von dieser Methode ab und verabfolgten die Isotopen mit einer einmaligen, subcutanen Injektion. Dabei trat das Maximum der P^{32}-Aktivität im Serum nach etwa 24 Stunden auf, während es in den Faeces erst nach einem weiteren Tag erreicht war. Die Kot-Aktivitäten sind demnach zu denen des vor 24 Stunden gewonnenen und gemessenen Serums in Beziehung zu bringen. Das "steady state" war bei Schafen am 7. Tage post injektionem erreicht und erlaubte bei der gegebenen radioaktiven Dosierung eine Messung bis zum 14. Tag. Wenn also der Zeitpunkt des "steady state" für eine Tierart feststeht, genügt es, die Messungen erst von diesem Termin ab vorzunehmen. Um die Arbeitsmethode zu vereinfachen, schlugen die Autoren vor, die Plasma-Aktivität nur am 7. und 13. Tag und die Aktivität des Kotes lediglich am 8. und 14. Tag post injektionem zu ermitteln und hiermit den Mittelwert

zu errechnen. Ferner prüften LOFGREEN und KLEIBER (22) die Übereinstimmung der spezifischen Aktivitäten von Plasma- und Harnphosphor bei Schafen ohne positives Ergebnis. Dagegen fand SEUSS (42) 1959 gerade bei Schafen eine auffallende Übereinstimmung, die auch schon von HEVESY (15) und KJERULF-JENSEN (17) an Ratten gefunden wurde. 1957 publizierten LUICK und LOOFGREEN (26) eine weitere methodische Änderung zur Bestimmung des endogenen Phosphors. Sie empfahlen an Stelle von radioaktivem Natriumphosphat die subcutane Injektion eines markierten Tricalciumphosphates. In diesem Falle wurde das "steady state" bereits am 3.-4. Tage erreicht, wodurch eine nicht unwesentliche Abkürzung der Versuche erreicht werden kann.

Ergebnisse über die Phosphor-Resorption aus Mineralstoffverbindungen

Aus dem Voranstehenden ist ersichtlich, daß der endogene Phosphor praktisch nur durch die Markierung des Stoffwechselphosphors nach der Isotopenverdünnungsmethode mit größerer Genauigkeit bestimmt werden kann. TILLMAN und BRETHOUR (44) stellten 1958 Versuche über die wahre Verdaulichkeit von Tricalciumphosphat und Phosphorsäure an Herford-Stieren an. Des weiteren untersuchten sie die Phosphorresorption von Di- und Monocalciumphosphat an erwachsenen Schafen.

TILLMAN und BRETHOUR (44) verabfolgten ihren Rindern eine tägliche Ration mit 23 g Calcium und 10,16 g Phosphor, wobei die Gesamt-Phosphor-Zufuhr zu 60 % von einem Phosphatsupplement gedeckt wurde. Die Ration mit Dicalciumphosphat wies eine Phosphorresorption von 75,2 $\pm$ 2,5 % auf, sie ist von der Ration mit Phosphorsäure mit 76,3 $\pm$ 3,2 % Resorption also nicht different. Den Schafen wurden täglich mit der Nahrung 3,37 g Calcium und 2,14 g Phosphor zugeführt. Von der Gesamt-Zufuhr an Phosphor wurden 70 % durch Calciumphytat bzw. Monocalciumphosphat bestritten; es ergab sich eine Phosphor-Resorption von 62,6 und 69,6 %.

LÖRCHER (25) und SEUSS (42) fanden als Phosphor-Verdaulichkeit des Dicalciumphosphates an Kälbern 75 %, bei erwachsenen Schafen, die täglich 14 g Calcium und 6 g Phosphor verfüttert erhielten, nur 48 %. Das weist darauf hin, daß bei einem Überangebot an Phosphor die Resorptionsquote sinkt. An Jungrinder fütterten dieselben Autoren Thomasmehl als Phosphor-Quelle. Seine Verdaulichkeit lag trotz des ungünstigen Ca : P-Verhältnisses von 4,5 : 1 mit 84,8 % bedeutend höher.

Resorption und Verwertung des Phosphors beim Schwein

Anhand der Versuche bei Wiederkäuern und Ratten konnte die Entwicklung der Phosphor-Verdaulichkeits-Bestimmung von der einfachen Bilanzaufstellung über einfache Indikatormethoden bis zum Verfahren mittels der Isotopenverdünnung aufgezeigt werden.

Diese Chronologie steht uns beim Schwein bis jetzt nicht zur Verfügung, obwohl die (vor allem angel-sächsische) Literatur reich an Publikationen über den Phosphorstoffwechsel der Schweine ist. So veröffentlichten LOFGREEN, KLEIBER und SMITH (23), SMITH, KLEIBER, BLACK und LUICK (43) und MOORE und TYLER (30) Arbeiten, die sich unter Verwendung von P^{32} mit der Resorption und Resekretion von Phosphor in verschiedenen Abschnitten des Intestinums befassen. Wenn diese drei Veröffentlichungen die vorliegende Arbeit auch nur mittelbar berühren, so dürfte eine kurze Zusammenfassung doch von Interesse sein.

LOFGREEN, KLEIBER und SMITH (23) nahmen 10 Tiere im Alter von 2, 4 und 8 Monaten in Versuch. Diese Schweine kamen zwischen 1 und 48 Stunden nach einer einmaligen intravenösen P^{32}-Injektion zur Schlachtung.

In den einzelnen Darmabschnitten des Verdauungstrakts fanden sie folgenden Phosphorgehalt:

a) Bei älteren Schweinen waren die Gewebe des Intestinums phosphorärmer als bei jüngeren.

b) Der Gesamt-Phosphorgehalt je Gewichtseinheit Trockensubstanz lag in der Magen- und Dünndarmwand bei allen Altersgruppen höher als in den Wänden der nachgeordneten Darmabschnitte.

c) Der Phosphorgehalt im Inhalt der einzelnen Darmabschnitte nimmt analwärts zu.

Es ergaben sich folgende spezifische Aktivitäten in den verschiedenen Abschnitten des Intestinums:

a) Die höchste Phosphor^{32}-Konzentration wurde im Dünndarm gemessen.

b) Zu jeder Zeit lag die spezifische Aktivität des Dickdarminhaltes niedriger als im Inhalt des Dünndarmes.

c) Die P^{32}-Aktivitäten in den verschiedenen Darmabschnitten waren bei allen Altersstufen untereinander gleich. Jedoch waren zu jedem Zeit-

punkt nach der P^{32}-Injektion die Absolutwerte bei den 2 Monate alten Tieren bedeutend niedriger als bei den 8 Monate alten. Dies wird damit erklärt, daß die Phosphoranlagerung im Skelett bei älteren Tieren nicht mehr so stürmisch verläuft wie bei den jüngeren.

d) Die Verteilung des radioaktiven Phosphors ist in Inhalt und Wand der verschiedenen Darmabschnitte sehr different.

e) Im Colon- und Rektuminhalt fand sich kurz nach der P^{32}-Injektion kein Radiophosphor vor. Dagegen wiesen zu diesem Zeitpunkt die Gewebe dieser Darmabschnitte das Maximum an Aktivität des Gesamtintestinums auf.

SMITH, KLEIBER, BLACK und LUICK (43) fanden bei 8 Monate alten Schweinen nach Injektion von radioaktivem PO_4, daß das anorganische PO_4 des Plasmas zum größten Teil in den Blinddarm sezerniert wird. Die Autoren fanden deshalb auch eine Aktivität in den Geweben dieses Darmabschnitts, die von allen untersuchten Organen nur noch von Leber und Niere übertroffen wurde. Die Aktivität nahm analwärts ab, wobei festgestellt werden konnte, daß das sezernierte PO_4 wieder schneller rückresorbiert wurde, als dies beim Futterphosphor der Fall war. Der Ausscheidungsgrad von anorganischem Phosphor in den Darm nahm mit dem Alter der Schweine auffallend ab.

MOORE und TYLER (30) gaben an Schweine im Alter von 9 - 10 Wochen 10 Tage lang Futterzusätze von Ca^{45} und P^{32} in Höhe von 2 %, anschließend bis zum 15. Tag inaktives Calciumphosphat. Beim Schlachten ergab sich, daß die Phosphor-Resorption in der oberen Hälfte des Dünndarmes am stärksten war. Im gleichen Darmabschnitt erfolgte auch der Großteil der Ausscheidung. Im restlichen Dünndarm konnte noch bis zu einem gewissen Umfang eine Rückresorption festgestellt werden. Anzeichen für eine Phosphor-Ausscheidung in den Dickdarm konnten nicht gefunden werden.

PLUMLEE, JORDAN, KENNINGTON und BEESON (36) unternahmen 6 Versuche mit insgesamt 210 wachsenden Schweinen und prüften die Verwertbarkeit von Phosphaten verschiedener Herkunft. Solange das Futter einen Phosphorgehalt von 0,18 % hatte, zeigten sich keine Unterschiede in den einzelnen Phosphatzulagen. Dies ist verständlich, solange zur Feststellung der Verwertbarkeit des Phosphors der Aschegehalt der Knochen als Kriterium herangezogen wird. In den weiteren Versuchen verwendeten die Verfasser ein Grundfutter, das nur 0,04 % Phosphor aufwies. Im Vergleich zu

einer Gruppe, die ihren Phosphorbedarf entsprechend den Versuchsgruppen aus Dicalciumphosphat deckte, konnten folgende Unterschiede festgestellt werden:

a) Eine Zulage von Weicherdephosphat verminderte den Gewichtszuwachs, die Futteraufnahme, den Phosphorgehalt des Serums und den Aschegehalt der Knochen auffallend und erhöhte deren Fluorgehalt erheblich.

b) Wurde Curacaophosphat zugegeben, so waren die Gewichtszunahmen ebenfalls geringer, wenn auch nicht so signifikant wie bei Weicherdephosphat.

c) Dagegen konnte zwischen Knochenmehl, fluorfreien Phosphaten und Dicalciumphosphat nur insofern ein Unterschied gefunden werden, als bei den beiden ersten (in den Mangelversuchen) deutlichere Phosphormangelsymptome festzustellen waren. Monocalciumphosphat und reine Phosphorsäure erzielten die gleiche Wirkung wie Dicalciumphosphat.

Die Mehrzahl weiterer Veröffentlichungen der letzten Jahrzehnte befaßt sich mit dem Einfluß verschiedener Phosphate auf die Gewichtszunahme. Es sind somit Versuche, die mehr übersichtliche Aussagen über die Wirkung des Phosphors erlauben.

Andere Autoren stellten mittels der einfachen Bilanz den Phosphorbedarf und damit indirekt die Verdaulichkeit dieses Minerals fest. Durch Außerachtlassung der endogenen Phosphorfraktion sind die bisher mitgeteilten Werte jedoch nur mit Vorbehalt zu übernehmen.

Arbeitsplan:

Aus den Darlegungen der Literatur ergibt sich somit, daß über die Resorption des Phosphors aus Futterrationen für Schweine bisher nur indirekte Aussagen getroffen wurden. In erster Linie waren Wachstum und Bilanz als Index genommen worden. Deshalb waren wir daran interessiert, die Phosphor-Resorption auf direktem Wege an wachsenden Schweinen zu messen. Als Mittel der Wahl bietet sich die dynamische Isotopenverdünnungsmethode an, die die endogene Faeces-Phosphor-Fraktion zu signieren gestattet und damit die Bilanzmethode in die Lage versetzt, über die Verwertung des Phosphors eine endgültige Aussage zu machen. Da dem wachsenden Schwein eine große Bedeutung zukommt, sollten die Versuche an 15 - 80 kg schweren veredelten Landschweinen durchgeführt werden. Für die Fütterung dieser Tiere wurden mehrere Rationen zusammengestellt, die es erlauben, die

Phosphor-Verwertung bei verschiedenem Phosphor-Angebot vegetabilen und anorganischen Ursprungs mit unterschiedlichem Phytin-Phosphor-Anteil kennenzulernen.

Futter I mit dem hohen Angebot von 5,8 g Gesamt-Phosphor je kg. Davon sind 1,8 g = 31,0 % aus Dicalciumphosphat stammender anorganischer Phosphor und 2,0 g = 34,4 % Phytin-Phosphor.

Futter II mit dem an der unteren Bedarfsgrenze liegenden Gesamt-Phosphor-Gehalt von 3,3 g je kg, der rein vegetabilen Ursprungs ist und einen Phytin-Phosphor-Anteil von 1,7 g = 51,5 % besitzt.

Futter III gleicht im Gesamt-Phosphor mit 3,35 g je kg dem Futter II, doch sind 1,62 g = 48,5 % Phosphor anorganischen Ursprungs aus Dicalciumphosphat und nur 0,836 g = 20,1 % Phytin-Phosphor enthalten.

Futter IV setzt sich aus 666 g Kartoffelflocken und 228 g des Futters II zusammen und hat 2,25 g Gesamt-Phosphor, wovon 0,41 g auf Phytin-Phosphor entfallen.

Futter V rekrutiert sich aus 666 g Kartoffelflocken und 224 g Futter III mit einem Gesamt-Phosphor-Gehalt von 2,25 g, in dem 0,184 g Phytin-Phosphor enthalten ist.

Futter VI besteht aus 1 kg Weizenmehl Type 405 mit 0,7 g Gesamt-Phosphor, wovon 0,014 g Phytin-Phosphor sind. In 4 Versuchen wurden:

1. 3,25 g Ca-Mg-Inosithexaphosphat mit 0,5 g Phytin-P
2. 6,5 g " " " " 1,0 g " "
3. 13,0 g " " " " 2,0 g " "
4. 19,5 g " " " " 3,0 g " "

zugefüttert, um die Höhe der Verdaulichkeit des Phytin-Phosphors abzuschätzen.

III. VERSUCHSTIERE UND METHODIK

Versuchstiere und Rationsgestaltung

Als Versuchstiere wurden Jungschweine aus der Landeszucht im Typ des veredelten Landschweines angekauft. Es wurde auf Tiere mit gutem Gesundheitszustand geachtet, um Aussagen über das gesunde und normal wachsende Tier machen zu können. Während der ersten 6 Versuche wurden männliche und weibliche Tiere verwendet. Dabei konnte in diesem Alter beim Phosphor-Stoffwechsel kein Unterschied zwischen den Geschlechtern gefunden werden. Daher wurden zu den weiteren Versuchen nur noch männliche Tiere herangezogen, weil bei diesen der Harn leichter aufzufanden war.

Ehe auf die Futterrationen der Versuchstiere im einzelnen eingegangen wird, sei eine kurze Bemerkung zur Futterzusammensetzung erlaubt. Eine richtige Fütterung ohne tierisches Eiweiß war bislang in der Schweinehaltung nicht denkbar. Phosphor-Resorptions- und Mangelversuche sind aber mit einem Futter, das Fischmehl oder ähnliche tierische Eiweißträger enthält, nicht durchführbar, da z.B. die empfohlenen 7,5 % Fischmehl in einer Getreidemischung bereits etwa 2,7 g Phosphor je kg entsprechen. Nun zeigen aber amerikanische Versuche, daß ein 15 %iger Anteil von getostetem Sojaschrot in einer Getreidemischung den Eiweißbedarf der Schweine decken kann. Die erzielten Zunahmen waren von denen der Vergleichstiere, die Fischmehl erhielten, nicht different. Deshalb wurde in den meisten der folgenden Futtermischungen zur Deckung des Eiweißbedarfes ein solches getostetes Sojaschrot verwendet. Zur Erhärtung der angeführten amerikanischen Versuche seien die Gewichtszunahmen in unseren Versuchen mit der Futterration I angegeben:

Schwein Nr. 1 nahm je kg Futter 336 g an Gewicht zu
" Nr. 2 " " " " 350 g " " "
" Nr. 3 " " " " 395 g " " "
" Nr. 4 " " " " 389 g " " "

Die Schweine 1 und 2 erhielten während Vorfütterung und Hauptversuchszeit 1,5 kg, die Schweine 3, 4, 5 und 6 2,0 kg der Futtermischung I, die sich wie folgt zusammensetzte:
81,5 % Gerste, 15,0 % getostetes Sojaschrot, 1,0 % Dicalciumphosphat, 1,0 % kohlensaurer Kalk, 0,5 % Kochsalz und 1,0 % einer Vitamin-Vormischung.

Das Futter I hatte einen Trockensubstanzgehalt von 89,20 %. Weitere Gehalte in % waren:
Asche = 4,95, Rohfaser = 5,41, Rohfett = 1,86, Rohprotein = 15,72, N-freie Extraktstoffe = 61,26, Calcium = 1,08 und Phosphor = 0,58.

Die Vitamin-Vormischung, die bei allen Tieren mit Ausnahme von den Versuchsnummern 25, 26, 27 und 28 verwendet wurde, hatte folgende Zusammensetzung:

150 g kristallisiertes Eisensulfat · 7 H_2O
120 g " Mangansulfat · 5 H_2O
25 g " Kupfersulfat · 5 H_2O
5 g " Kobaltsulfat · 4 H_2O
100 g " Zinkkarbonat · 7 H_2O
100 g Vitamin-B-12-Konzentrat (100 mg je kg).

500 g Fortafeed 2 - 49 - c
(2,2 g Riboflavin, 4,4 g Pantothensäure, 9,9 g Nikotinsäure, 11,0 g Choleinsäure, 0,066 g Folsäure).

330 g "Rovimix Roche" A + D_3 (20 000 / 2000 IE je g) ad 10 kg mit Sojaschrot vermischt.

1 kg des Futters I enthielt 5,8 g Gesamt-Phosphor, der Anteil an Phytin-Phosphor war nach der Analysenmethode von McCANCE und WIDDOWSON (27) 2,06 g, nach der Methode von BECKER (3) 1,94 g, im Mittel 2,0 g. Dies entspricht 34,4 % der Gesamt-Phosphormenge. Der Anteil an anorganischem Phosphor in Form von Dicalciumphosphat betrug 31,0 %. Das Ca : P-Verhältnis ist mit 1,86 : 1 physiologisch, der Zusatz von Vitamin D_3 liegt mit 660 IE im optimalen Bereich.

Für die Schweine 1 und 2 brachte das Futter eine tägliche Zufuhr von 16,2 g Ca und 8,7 g Gesamt-Phosphor, der sich aufgliederte in 2,7 g anorganischen Phosphor und 6,0 g organischen Phosphor, welcher wiederum 3,0 g Phytin-Phosphor enthielt.

Die Schweine 3, 4, 5 und 6 erhielten täglich: 21,6 g Calcium und 11,6 g Gesamt-Phosphor, der sich aufgliederte in 3,6 g anorganischen Phosphor und 8,0 g organischen Phosphor, der wiederum 4,0 g Phytin-Phosphor enthielt.

Die Schweine 7 und 8 wurden mit 2 kg, die Schweine 9 und 10 mit 1 kg, die Schweine 11 und 12 mit 0,535 kg der Futtermischung II gefüttert. Dieses Futter unterschied sich von der Mischung I nur durch das Fehlen des Dicalciumphosphates.
Zusammensetzung der Mischung II: 83,3 % Gerste, 15,0 % getostetes Sojaschrot, 0,5 % kohlensaurer Kalk, 0,5 % Kochsalz und 0,7 % der weiter vorne genannten Vitamin-Vormischung. Neben einem Trockensubstanzgehalt von 88,39 % wurden folgende Werte gefunden:
Asche = 4,05 %, Rohfaser = 6,49 %, Rohfett = 1,77 %, Rohprotein = 15,03 % und N-freie Extraktstoffe = 61,05 %.

1 kg des Futters II enthielt: 4,9 g Calcium und 3,3 g Gesamt-Phosphor. Der Anteil an Phytin-Phosphor war nach McCANCE und WIDDOWSON 1,77 g, nach BECKER 1,63 g, im Mittel 1,7 g. Dies entspricht 51,5 % der Gesamt-Phosphormenge. Das Ca : P-Verhältnis ist mit 1,48 : 1 physiologisch, der Zusatz von Vitamin D_3 liegt mit 460 IE im optimalen Bereich.

Die Schweine 7 und 8 nahmen somit täglich auf:
9,8 g Calcium und 6,6 g Gesamt-Phosphor, der vollständig vegetabilen Ursprungs war und 3,4 g Phytin-Phosphor enthielt.

Die Schweine 9 und 10 erhielten täglich 4,9 g Calcium und 3,3 g Gesamt-Phosphor, wovon 1,7 g auf Phytin-Phosphor entfielen.

Die Schweine 11 und 12 bekamen täglich: 2,622 g Calcium und 1,765 g Gesamt-Phosphor. Der Phytin-Phosphor-Anteil betrug 0,909 g.

Den Schweinen 13, 14, 15 und 16 wurden 2 kg, dem Schwein 17 1 kg, den Schweinen 18 und 19 0,535 kg einer Futtermischung III verabreicht, die sich wie folgt zusammensetzte:
82,4 % Weizenmehl Type 405, 15 % getostetes Sojaschrot, 0,9 % Dicalciumphosphat, 0,5 % kohlensaurer Kalk, 0,5 % Kochsalz und 0,7 % der weiter vorne beschriebenen Vitamin-Vormischung. Der Trockensubstanzgehalt betrug = 88,07 %, Asche = 2,78 %, Rohfaser = 1,26 %, Rohfett = 1,29 %, Rohprotein 16,39 % und N-freie Extraktstoffe = 66,35 %.

1 kg des Futters III enthielt 8,22 g Calcium und 3,35 g Gesamt-Phosphor. Der Anteil des Phytin-Phosphors betrug nach McCANCE und WIDDOWSON 0,66 g, nach BECKER 0,69 g, im Mittel 0,675 g. Dies entspricht 20,1 % der Gesamt-Phosphormenge.

Der Anteil des aus Dicalciumphosphat zugeführten Phosphors belief sich auf 48,3 %.

Das Ca : P-Verhältnis ist mit 2,45 : 1 noch vertretbar, zumal der Vitamin-D-Gehalt mit 460 IE optimal ist.

Den Schweinen 13, 14, 15 und 16 standen demnach täglich zur Verfügung: 16,44 g Calcium und 6,7 g Gesamt-Phosphor, der sich aus 3,24 g Phosphat und 3,46 g vegetabilem Phosphor rekrutierte. In letzterem waren 1,67 g Phytin- Phosphor enthalten.

Das Schwein 17 erhielt täglich 8,22 g Calcium und 3,35 g Gesamt-Phosphor, der sich aus 1,62 g anorganischem Phosphor und 1,73 g vegetabilem Phosphor zusammensetzte. Letzterer enthielt 0,84 g Phytin-Phosphor.

Dem Schwein 18 wurden täglich 4,34 g Calcium und 1,79 g Gesamt-Phosphor verabreicht, der sich aus 0,86 g anorganischem Phosphor und 0,93 g vegetabilem Phosphor ergab, von diesem entfielen 0,45 g auf Phytin-Phosphor.

Das Schwein 19 erhielt dieselbe Ration wie Nr. 18. Zusätzlich wurden ihm aber 10 g Calcium-Magnesium-Inosithexaphosphat mit einem Gehalt von 1,55 g Phytin-Phosphor gegeben, so daß sich folgende Relationen ergaben: 5,0 g Calcium und 3,35 g Gesamt-Phosphor, der sich aus 0,87 g anorganischem Phosphor und 2,48 g vegetabilem Phosphor ergab, wovon 1,99 g auf Phytin-Phosphor entfielen. Das Ca : P-Verhältnis betrug 1,49 : 1.

Das Schwein 20 wurde mit dem Futter Nr. IV gefüttert, das aus 228 g der Futtermischung II und 666 g Kartoffelflocken bestand. Die Analyse der Kartoffelflocken ergab folgende Werte:
Trockensubstanz = 89,19 %, Asche = 3,75, Rohfaser = 1,69 %, Rohfett = 0,45 %, Rohprotein = 6,41 % und N-freie Extraktstoffe = 76,89 %. 1 kg Kartoffelflocken enthielt 2,25 % Phosphor und 0,334 g Calcium. Ca : P-Verhältnis = 0,15 : 1.

Die tägliche Ration mit dem Futter IV wies einen Gehalt von 1,339 g Calcium und 2,25 g Phosphor auf, was einem Ca : P-Verhältnis von 0,6 : 1 entspricht. Die 2,25 g Gesamt-Phosphor enthielten 0,41 g Phytin-Phosphor. Das Ca : P-Verhältnis ist unphysiologisch, auch der Zusatz von Vitamin D_3 liegt unter dem Bedarf.

Dem Schwein 21 wurde das Futter Nr. V mit 224 g der Futtermischung III und 666 g Kartoffelflocken gereicht. Das Futter enthielt 2,06 g Calcium und 2,25 g Gesamt-Phosphor, wovon 0,18 g auf Phytin-Phosphor entfielen. Mit 0,92 : 1 lag das Ca : P-Verhältnis im physiologischen Bereich. In der Ration waren 103 IE Vitamin-D_3 enthalten.

Mit den Versuchen Nr. 22 - 25 sollte eine eventuelle Phytinphosphorverdaulichkeit festgestellt werden. Die Futterzusammensetzung einer solchen Ration entspricht zwangsläufig nicht optimalen Bedingungen. Die Tiere erhielten täglich 1,0 kg Weizenmehl Type 405 mit einem Gehalt von 0,7 g Gesamt-Phosphor, wovon 0,014 g Phytin-Phosphor waren. Da in 1 kg Weizenmehl 0,14 g Calcium enthalten waren, ergab sich ein Ca : P-Verhältnis von 0,2 : 1. Im einzelnen bekamen die Tiere dieser Versuchsreihe folgende Rationen:

1. Schwein 22 erhielt zu 1 kg Weizenmehl 3,25 g Ca-Mg-Inosithexaphosphat = 0,500 g Phytin-Phosphor zugefüttert. Es vereinnahmte somit 0,679 g Calcium und 1,2 g Gesamt-Phosphor, wovon 0,514 g Phytin-Phosphor waren. Das Ca : P-Verhältnis betrug 0,57 : 1.

2. Dem Schwein 23 wurden zu 1 kg Weizenmehl 6,25 g Ca-Mg-Inosithexaphosphat = 1,0 g Phytin-Phosphar zugegeben. Es nahm täglich 1,22 g Calcium und 1,7 g Gesamt-Phosphor auf, wovon 1,014 g Phytin-Phosphor waren. Ca : P-Verhältnis = 0,75 : 1.

3. Schwein 24 vereinnahmte neben 1 kg Weizenmehl 13,0 g Ca-Mg-Inosithexaphosphat = 2,0 g Phytin-Phosphor. Ihm standen demnach täglich 2,3 g Calcium und 2,7 g Gesamt-Phosphor zur Verfügung, von dem 2,014 g auf Phytin-Phosphor entfielen. Ca : P-Verhältnis = 0,85 : 1.

4. Schwein 25 erhielt neben 1 kg Weizenmehl 19,5 g Ca-Mg-Inosithexaphosphat = 3,0 g Phytin-Phosphor zugefüttert. In der Ration waren somit 3,34 g Calcium und 3,7 g Gesamt-Phosphor, wovon 3,014 g aus Phytin-Phosphor bestanden. Ca : P-Verhältnis = 0,9 : 1.

Methodik zur Ermittlung des Phytingehaltes in Futtermitteln und im Kot

Das Prinzip der Phytin-Bestimmung in biologischem Material beruht auf der Abtrennung des Phytins als Eisen-Phytat-Niederschlag. Nach dessen Zersetzung durch NaOH kann wahlweise entweder der Phosphor im Phytat oder das zur Niederschlagsbildung benötigte Eisen bestimmt werden. Für die vorliegende Arbeit wurden 2 Methoden ausgewählt, die sowohl von der einen als auch der anderen Möglichkeit Gebrauch machen.

Während sich in den weiter unten im einzelnen genannten Verfahren mit reinem Ca-Mg-Inosithexaphosphat keine weiteren Schwierigkeiten ergaben,

so sind diese bei der Anwendung auf biologisches Material die Regel, denn alle Getreideaufschlüsse mit HCl sind stark schleimig. Es war nicht möglich diese Aufschlüsse durch Filtrieren zu reinigen, ohne daß die Ergebnisse verfälscht worden wären. Die Schwierigkeiten sind zu beherrschen, wenn nach CARREZ (7) geklärt wurde. Die Arbeitsweise war folgende:
Von einer feingemahlenen Probe wurde eine etwa 10 mg Phytin-Phosphor enthaltende Menge (im Durchschnitt etwa 5 g ursprüngliche Substanz) in einen 100 ml fassenden Meßkolben eingewogen und 3 Stunden mit 50 ml 0,5 n HCl in der Schüttelmaschine geschüttelt. Die Säure wurde dann mit 3 ml 15 %iger Kaliumferrozyanidlösung und 3 ml 30 %iger Zinksulfatlösung zur Klärung gebracht. Darauf ist der Ansatz mit Aqua bidest. ad 100 ml aufgefüllt, kräftig geschüttelt und 30 Minuten zentrifugiert worden. Es ergab sich eine klare, mitunter durch das Untersuchungsmaterial leicht gefärbte Lösung. Hin und wieder auftretende starke Schaumbildung, die das Auffüllen zur Marke erschwerte, wurde mit einigen Tropfen Äther gebremst. Ist eine Substanz eisenhaltig, so nimmt der Zinkferrozyanidniederschlag eine Blaufärbung an, die bedeutungslos ist. Die Phytinlösung soll einen pH-Wert von 1,6 - 1,7 besitzen. Zur Analyse wurden 20 - 40 ml dieser Lösung verwendet.
Die Analysen wurden im einzelnen jeweils in mehreren Bestimmungen sowohl nach McCANCE und WIDDOWSON (27) als auch nach BECKER (3) durchgeführt.

Bestimmung des Phosphors im zuvor zerlegten Ferriphytat-Niederschlag (nach McCANCE und WIDDOWSON, 27):
20 - 40 ml des auf die vorstehende Weise gewonnenen Extraktes werden im Zentrifugenglas mit 2 ml $FeCl_3$-Lösung (1 mg Fe in 1 ml n HCl) versetzt, 15 Minuten im fließenden Wasser abgekühlt, 25 Minuten zentrifugiert. Die überstehende Lösung ist abzugießen und zu verwerfen. Nun wird das entstandene, im Niederschlag befindliche Eisenphytat zur Entfernung von überschüssigen Fe-Ionen mit 5 ml n/6 HCl gewaschen, wieder zentrifugiert und dekantiert. Der Niederschlag ist mit 2 ml Aqua bidest. aufzurühren, 5 Minuten im siedenden Wasserbad zu erhitzen und mit 2 ml n/2 NaOH zu versetzen, wobei das Ferriphytat gespalten wird. Nach weiteren 15 Minuten Erhitzung läßt man abkühlen, zentrifugiert 10 Minuten und gießt die über dem $Fe(OH)_3$-Niederschlag stehende Phytin-Lösung ohne Filter in einen 500 ml Kjeldahlkolben. Der Eisenhydroxyd-Niederschlag wird mit heißem Aqua bidest. (ca. 50 - 100 ml) durch ein Weißband-Filter über dem 500 ml Kolben noch einmal nachgewaschen. Nach Zugabe

von 1 ml Perchlorsäure (70 %) und 1 ml konzentrierter Schwefelsäure ist zu veraschen und der Phosphor nach FISKE und SUBBAROW (11) zu bestimmen.

Bestimmung des verbrauchten Eisens aus dem Ferriphytat(nach BECKER, 3):

Der Analysengang geht mit dem nach McCANCE und WIDDOWSON (27) bis zur Zerlegung des Ferriphytates durch NaOH konform. Nach der Methode von BECKER wird jetzt das Eisenhydroxyd mit heißer n/2 HCl durch ein Filter in einem 50 ml Meßkolben gelöst und quantitativ überführt. Nach dem Abkühlen werden 5 ml Ammoniumrhodanidlösung zugegeben, mit n/2 HCl zur Marke aufgefüllt und die entstandene Farbe des Eisenrhodanatkomplexes bei Filter S 47 in 1 cm Küvetten im elektrischen Kolorimeter gemessen.

Der Gehalt an Phytin-Phosphor ergibt sich aus der Multiplikation der Fe-Menge mit dem Faktor 1,08.

Aufstellung einer Eisen-Eichkurve

Um die Eichkurve für die Eisenbestimmung aufzustellen, wurde die Reaktion in 50 ml-Meßkölbchen durchgeführt. Die Füllung der Meßkolben erfolgte in folgender Reihenfolge:

1. 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 und 40 ml einer 1 mg %igen Stammlösung: (7,0225 g $FeSO_4 \cdot (NH_4)_2SO_4 \cdot 6\ H_2O$ enthalten 1,0 g Eisen. 0,70225 g Ferroammoniumsulfat werden analytisch eingewogen, mit Aqua bidest. ad 1000 ml aufgefüllt. Davon werden 100 ml mit 5 ml H_2SO_4 versetzt und ad 1000 ml aufgefüllt. Diese Eisen-Lösung ist 1 mg %ig).
2. 5 ml 24 % Salzsäure
3. 5 ml 10 % Ammoniumrhodanidlösung
4. Aqua bidest. ad 50 ml.

Die Lösungen wurden kräftig geschüttelt und im Stufenphotometer in 1 cm Küvetten bei Filter S 47 gemessen.

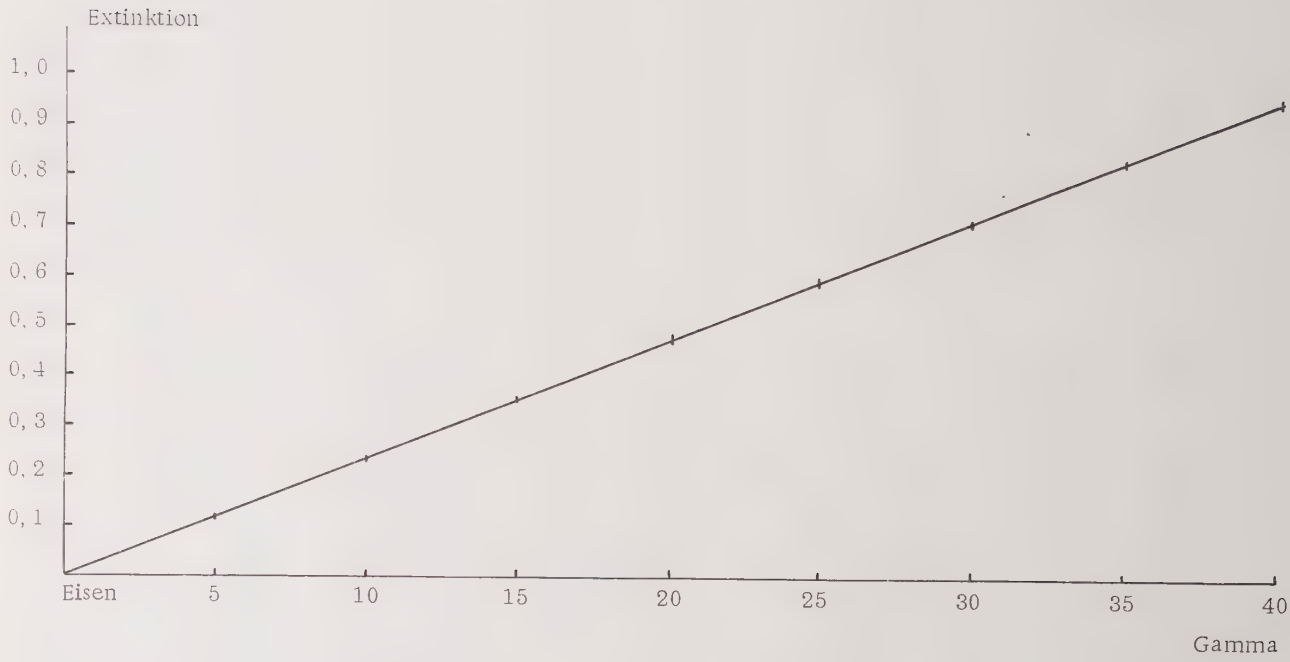
Eisen-Eichkurve von 0 - 40 Gamma/50 ml

Konzentr.	s in cm	Extinktion	Faktor
Blindwert	1	0, 0015	
5	1	0, 120	41, 66
10	1	0, 250	40, 00
15	1	0, 360	41, 66
20	1	0, 475	42, 11
25	1	0, 595	42, 02
30	1	0, 720	41, 66
35	1	0, 850	41, 17
40	1	0, 960	41, 66

Mittlerer Faktor = 41, 49

Eisen-Eichkurve

Abb. Nr. 1



Durchführung der Versuche, sowie die chemische und physikalische Phosphorbestimmung

Zur jeweiligen Vorbereitung wurden die Tiere 3 - 5 Wochen vor Versuchsbeginn mit der vorgesehenen Menge und Art der gewählten Nahrung vorgefüttert, so daß sich der Stoffwechsel der Schweine hierauf einstellen konnte. 6 - 8 Tage vor der ersten Blut- und Harnanalyse wurden die Tiere in Einzelkäfige verbracht. Zu verschiedenen, weiter unten angegebenen Zeiten wurde den Jungschweinen 1 - 3 mC Orthophosphat in verdünnter Salzsäure mit einem pH-Wert von 3 - 4 injiziert. Diese Lösung wurde mit physiologischer Kochsalzlösung ad 10 ml aufgefüllt und am Hals subcutan zur Kennzeichnung des Stoffwechsel-Phosphors verabreicht. Nach Erreichen des "steady state" wurde mit den chemischen und physikalischen Phosphor-Analysen begonnen. Herangezogen wurden jeweils 5 Blut- und Harnproben, alternierend mit 5 Kotproben. Daß die 6 - 7 Einzelanalysen, die LÖRCHER (25) und SEUSS (42) bei Wiederkäuern durchgeführt haben, unterschritten wurden, hat zwei Gründe:

1. wurde bei Schweinen das "steady state" nie wie bei Schafen und Jungrindern am 7. - 8. Tag, sondern frühestens am 11. - 12. erreicht, so daß mit den verwertbaren Versuchen erst 4 Tage später begonnen werden konnte.

2. war der endogene Anteil des Kot-Phosphors verhältnismäßig gering, so daß nach dem 21. Tag post injektionem die Aktivität im Kotaufschluß zu klein wurde, um einwandfreie Werte zu gewährleisten.

Zur Blutentnahme: Das in 2tägigem Turnus zusammen mit dem Harn zur Analyse kommende Blut wurde auf verschiedene Weise gewonnen. Die eleganteste Art stellt ohne Zweifel die Entnahme aus der V. cava cranialis dar. Die Tiere werden zu diesem Zweck in Rückenlage an den Hinterbeinen an einem Gestell aufgehängt, das in eine Neigung von etwa 45 Grad gebracht wurde. Mit je einer starken Schnur wird das Schwein an Thorax und cranialem Hals hierauf befestigt. Die Schweine liegen dabei bewegungslos, da 3 Punkte (Hals, Thorax und Hinterbeine) fixiert sind. Nun wird das Praesternum palpiert, 2 cm vor und 2 cm seitlich von ihm in der rechten Jugularfurche eine Fünfmarkstück große Vertiefung palpiert. In ihrer Mitte wird mit einer Kanüle von 1,5 mm Lumen mit aufgesetzter Spritze eingestochen. Nach Passieren der Haut erzeugt man durch Rückziehen des Kolbens in der Spritze ein Vakuum. Beim weiteren Einstechen in caudo-dorso-medialer Richtung trifft man das gewünschte Gefäß. Der Unterdruck in der Spritze veranlaßt ihre Füllung.

Nach mehrmaligen, bei den ersten 2 Versuchen zur Ermittlung des "steady state" bis zu 10 Blutentnahmen kam es mitunter zu Hämatomen in der Subcutis, wodurch das spätere Auffinden der Vene unmöglich gemacht wurde. Es kam auch vor, daß das Gefäß dorsal der Trachea lag und nur schwer zu erreichen war. In diesen Fällen, oder wenn eine Hilfsperson fehlte, wurde versucht aus der Ohrvene Blut zu entnehmen, was bei den jungen Tieren jedoch selten gelang. Versagten diese beiden Methoden, wurde das Blut aus den Schwanzarterien bzw. -venen gewonnen. Bei 3 Tieren wurde erfolgreich eine Herzpunktion durchgeführt.

Das Sammeln der Harn- und Faeces-Mengen war in den Stoffwechselkäfigen ohne wesentliche Schwierigkeiten möglich. In den Ausscheidungen der genannten Organe wurde der Quotient $P^{32} : P^{31}$ bestimmt und hieraus in der weiter hinten angegebenen Weise die endogene Kot-Phosphor-Fraktion errechnet. Mit Hilfe der Einnahmen und Ausgaben kann hieraus der Resorptions-Koeffizient errechnet werden.

Aufarbeitung der Proben:

Blut: Das unter Zusatz von Natriumcitrat gewonnene Blut wurde zunächst 30 - 40 Minuten bei 2500 Umdrehungen je Minute zentrifugiert, das überstehende Plasma mit adäquaten Teilen Trichloressigsäure enteiweißt und mit 2 ml Trichloressigsäurefiltrat (TCF) sowohl die chemische Bestimmung als auch die physikalische Strahlenmessung vorgenommen.

Harn: Nachdem die Gesamtmenge des Harns und sein spezifisches Gewicht bestimmt worden sind, wurden 25 ml davon in 250 ml Kjeldahlkolben eingedampft, darauf mit Hilfe von 15 ml eines Oxydationsgemisches aus 200 ml Perchlorsäure, 150 ml Schwefelsäure und 150 ml Aqua dest. verascht. Das Veraschungsprodukt wurde ad 50 ml aufgefüllt. Die chemische und physikalische Phosphor-Bestimmung erfolgte ebenfalls mit jeweils 2 ml Aufschluß.

Kot: Die tägliche Kotmenge wurde ohne Verlust gewonnen, in Körben aus Fliegendraht im Umlauftrockner bei 110 ^{o} C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gewogen und gemahlen. 500 mg der homogenisierten Kot-Trockensubstanz wurden mit 15 - 20 ml des eben erwähnten Oxydationsgemisches naß verascht und ad 50 ml aufgefüllt. Davon sind wiederum je 2 ml zu den Bestimmungen herangezogen worden.

Die chemische Phosphorbestimmung:

Sie erfolgte nach der Methode von FISKE und SUBBAROW (11), die im Prinzip auf der Reduktion des farblosen Phosphor-Molybdän-Komplexes zu blauem Molybdänoxyd beruht, dessen Farbintensität in 1,0 bzw. 0,5 cm-Küvetten bei Filter S 72 gegen Aqua dest. im Stufenphotometer der Firma Zeiss gemessen wurde. Als Reduktionsmittel diente 1-2-4-Amino-Naphthol-Sulfonsäure, mit der Handelsbezeichnung Eikonogen.

Zur Berechnung der Phosphorkonzentration aus den Extinktionswerten wurde der Faktor 0,179 ermittelt, mit dem die Ergebnisse zu multiplizieren waren.

Messung der Radioaktivität:

Die Feststellung der Aktivität erfolgte in flüssiger Form in Metallküvetten unter Glockenzählrohren mit der niedrigen Massenbelegung von 1,52 g/cm^2 im Geigerzähler FH 49 der Firma Frieseke & Höpfner GmbH (Erlangen-Bruck). Es wurde zunächst der Null-Effekt der leeren Küvette ermittelt, deren Impulszahl von der Aktivität der Probe abgezogen wurde. Sowohl Null-Effekt als auch Probe wurden jeweils dreimal 10 Minuten lang gemessen. Die so erhaltenen Ergebnisse mußten um die Zerfallzeit der Isotopen korrigiert werden. Zur Errechnung der spezifischen Aktivität wurde die Strahlenmenge auf das jeweils vorliegende Gesamt-Phosphat bezogen.

IV. ERGEBNISSE

Methodisches

Zur Ermittlung des Resorptionskoeffizienten beim Schwein wurden mit 15 - 80 kg schweren Tieren des Deutschen veredelten Landschweines entsprechende Bestimmungen durchgeführt:

Im Kapitel METHODIK sind die einzelnen Futterrationen aufgeführt worden. Zur Kontrolle der errechneten Phosphorgehalte wurden von den jeweils homogenisierten Futtermischungen Phosphoranalysen vorgenommen. Ferner wurden Calciumbestimmungen durchgeführt und die Futtermittel auf Trockensubstanz, Asche, Rohfaser, Rohfett, Rohprotein und N-freie Extraktstoffe untersucht. Die Analysen sind weiterhin auf den Phytinphosphor-Anteil ausgedehnt worden, der nach zwei verschiedenen Verfahren und zwar nach McCANCE und WIDDOWSON (27) und nach BECKER (3) bestimmt wurde. Die jeweiligen Ergebnisse wurden bereits im Kapitel VERSUCHSTIERE und METHODIK mitgeteilt. Sie sind im einzelnen noch einmal in Tabelle 5 übersichtlich zusammengestellt.

Zur Ermittlung des Phosphorresorption-Koeffizienten

Wie bereits im einzelnen dargelegt, wurde zur Ermittlung der Resorptionskoeffizienten die Isotopenverdünnungsmethode angewendet, da nur mit dieser eine Fraktionierung des Phosphorgehaltes der Faeces in seinen endogenen und exogenen Anteil mit ausreichender Genauigkeit durchgeführt werden kann. Die Voraussetzung für derartige Messungen, bei denen die spezifische Phosphoraktivität des Blut-Serums mit derjenigen der Faeces in Beziehung gesetzt wird, ist der Eintritt des "steady state", das heißt die gleichmäßige Verteilung radioaktiv markierten Phosphors mit den in den Organen bereits vorhandenen Phosphorfraktionen. Zur Ermittlung dieses Zeitpunktes wurde zu Beginn der Versuchsreihen an 2 Schweinen der Aktivitätsverlauf zwischen dem 2. und 21. Tag nach subcutaner Verabreichung einer radioaktiven Orthophosphatlösung verfolgt, wobei sich zunächst feststellen ließ, daß das Maximum der spezifischen Aktivität der Faeces erst 24 Stunden nach dem des Trichloressigsäurefiltrates (TCF) des Serums erreicht wurde. Der sich anschließende Aktivitätsabfall war exponentiell. Die spezifischen Aktivitäten von Faeces, Serum und Harn zeigten etwa vom 12. Tag post injektionem ab eine annähernd lineare Regression (Abb. 1). Deshalb wurde für die

weiteren Messungen die Zeit zwischen dem 12. und 21. Tag nach der radioaktiven Injektion zur Ermittlung der spezifischen Aktivitäten festgelegt. Diese wird als das Verhältnis an korrigierten P_{32}-Impulsen je Minute zu mg inaktivem Phosphor definiert. Dies gilt sowohl für die Faeces, als auch für das TCF und den Harn.

Aus dem Verhältnis:

$$\frac{\text{Spezifische Aktivität d. Kot-Phosphors}}{\text{Spezifische Aktivität d. TCF}} \times 100$$

ergibt sich prozentual der Anteil des endogenen Phosphors an der täglichen Gesamt-Phosphorausscheidung über den Kot. Als Beispiel seien die Werte des Versuches Nr. 15 angeführt:

$$\frac{65,4}{622,7} \times 100 = 10,5$$

Der endogene Kot-Phosphor-Anteil beträgt in diesem Versuch demnach 10,5 % vom täglichen, über den Kot ausgeschiedenen Gesamtphosphor. Diese 10,5 % setzen sich dabei aus folgenden 5 Einzelwerten zusammen:

11,2 10,4 10,7 10,6 und 10,0

Das Schwein aus dem Versuch Nr. 15 nahm während der Vorfütterung und während des Versuches täglich 6,7 g Phosphor zu sich. In den Faeces fanden sich im Durchschnitt täglich 2,131 g Phosphor, wovon 10,5 % oder 0,225 g endogenen Ursprungs waren. Der exogene Kot-Phosphor-Anteil betrug somit 1,906 g.

Die tatsächliche Phosphor-Resorption wird durch folgende Formel ausgedrückt:

$$\frac{a - (b-c)}{a} \times 100$$

wobei a = die tägliche Gesamt-Phosphor-Zufuhr
b = die tägliche gesamte P-Ausscheidung im Kot
c = die endogene und
b-c = die exogene Kot-Phosphor-Rate

darstellt.

a - (b-c) gibt den tatsächlich resorbierten Phosphor in Gramm an.

Aktivitätsabfall von TCF, Harn und Faeces
im Versuch Nr. 15

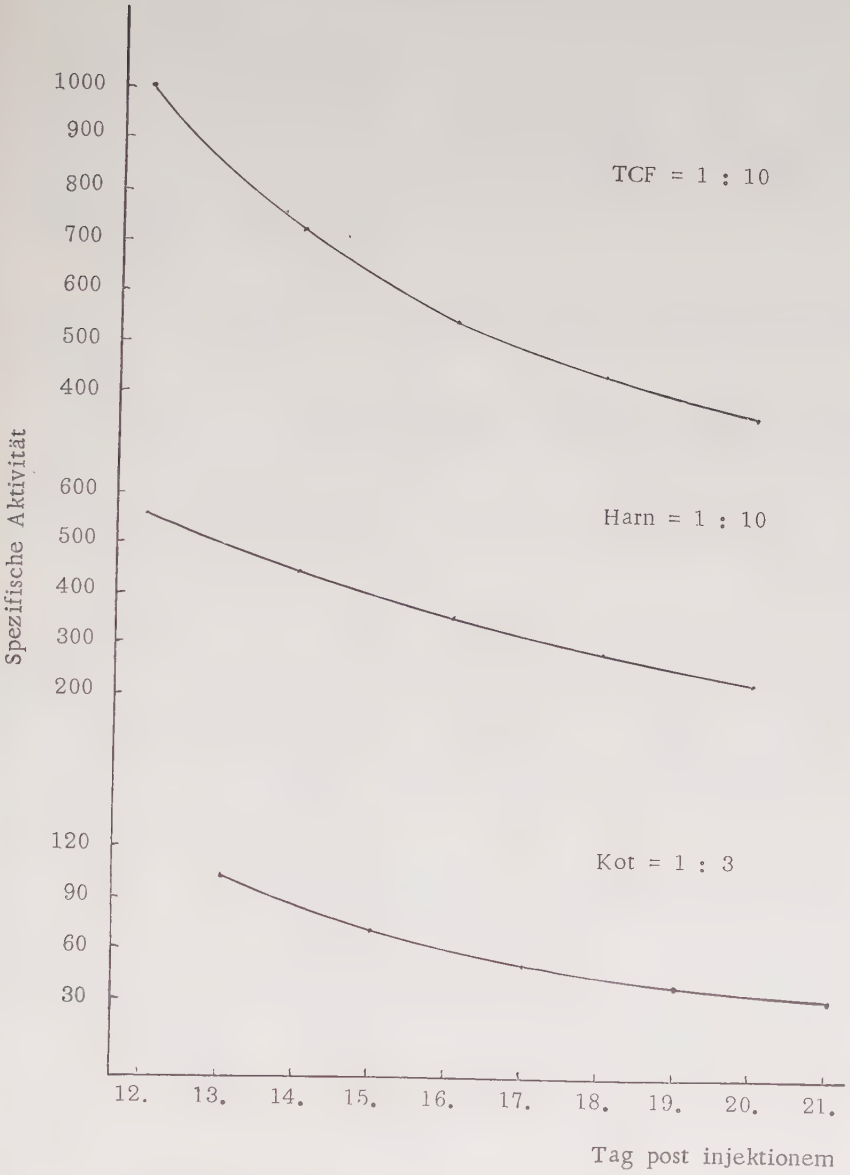


Abb. Nr. 2

Im vorstehenden Beispiel lauten die Werte:

$$\frac{6,7 - (2,131 - 0,225)}{6,7} \times 100 = 71,5\ \%$$

womit die wahre Phosphorresorption oder der Phosphor-Resorptionskoeffizient für diesen Versuch charakterisiert ist.

Die scheinbare Verdaulichkeit, die durch die Formel

$$\frac{a - b}{a} \times 100$$

ausgedrückt wird, beträgt dagegen bei diesem Tier 68,1 %.

Die Werte der übrigen Versuche sind aus der Übersichtstabelle 6 zu ersehen.

Die Tabelle 4 zeigt als Beispiel, wie die einzelnen Versuche während ihrer Durchführung tabellarisch erfaßt wurden.

Zur Bestimmung des Phosphor-Resorptions-Keoffizienten bei Futtermitteln mit überwiegendem Phytinphosphoranteil

Weiterhin interessierte bei wachsenden Schweinen in ihrer Eigenschaft als monogastrische Tiere die Verwertung von Phytinphosphor. Die in den vorhergegangenen Versuchen, bedingt durch den hohen Phosphoranteil im Grundfutter, aufgetretene Unmöglichkeit, eine exakte Aussage über die Verdaulichkeit des Phytin-Phosphors zu machen, legte die Verwendung eines Grundfutters mit möglichst geringem Phosphorgehalt nahe.

Wenn auch ein synthetisches Futter ohne jeglichen Phosphorgehalt nicht zur Verfügung stand, so wurde im Weizenmehl Type 405 eine Grundnahrung mit nur 0,07 % Phosphor gefunden. Dieses als Futter VI bezeichnete Futtermittel enthielt in 1 kg nur 14 mg Phytinphosphor. In den einzelnen Versuchen erhielten die Tiere steigende Mengen synthetischen Ca-Mg-Inosithexaphosphotes, im übrigen wurde nach dem bereits beschriebenen Verfahren vorgegangen. Als Beispiel möge der Versuch 23 dienen. Hier betrug die tägliche Gesamt-Phosphor-Zufuhr 1,7 g, wovon 0,7 g = 41,2 % vegetabilen Ursprungs aus dem Weizenmehl Type 405 waren, während die restlichen 1,0 g = 58,6 % auf Phytinphosphor aus Ca-Mg-Inosithexaphosphat entfielen. Die tatsächliche Phosphor-Resorption gehorcht auch hier wieder der Formel

$$\frac{a - (b-c)}{a} \times 100$$

Setzen wir die Werte des Versuches 23 ein, so lautet die Gleichung:

$$\frac{1,7 - 0,892}{1,7} \times 100 = 47,5\ \%$$

Die wahre Verdaulichkeit des Phosphors aus der Gesamtration beträgt somit 47,5 %.

Die Werte der übrigen Versuche sind in der Übersichtstabelle 6 aufgeführt.

Zur Ermittlung des Phosphoransatzes beim wachsenden Schwein

Der Phosphoransatz eines wachsenden Schweines wird am besten je kg Gewichtszuwachs angegeben. Der Ansatz, der dem retinierten, also vom Organismus effektiv einbehaltenem Phosphoranteil unter Abzug der Exkretionsrate entspricht, gehorcht der Formel:

$$a - ((b-c) + (c + d)),\ \text{wobei}$$

a = der täglichen Gesamt-P-Zufuhr
(b-c) = dem exogenen Kot-Phosphor
(c+d) = dem wieder über Harn und Darm exkretierten Phosphor entspricht.

Der täglich retinierte Phosphor in Gramm durch die tägliche Zunahme in Kilogramm geteilt, ergibt den Phosphoransatz je kg Zuwachs in Gramm. Als Beispiel diene der Versuch Nr. 1:

$$\frac{2,356\ \text{g retinierter P}}{0,504\ \text{kg tägl. Zunahme}} = 4,674\ \text{g P}$$

Das Tier im Versuch 1 retinierte je kg Zuwachs 4,674 g P.

Die Mittelwerte des Phosphoransatzes in den einzelnen Versuchen sind in der Übersichtstabelle 6 aufgeführt.

V. DISKUSSION

Es wurde dargelegt, daß die Ermittlung des Resorptionskoeffizienten für Phosphor bei Nutztieren bislang auf Schwierigkeiten gestoßen ist, weil bei ihnen außer der Niere auch der Darm namhaft an der Ausscheidung des Stoffwechselphosphors beteiligt ist. Die Wiederkäuer exkretieren z.B. weitaus mehr Phosphor über den Kot (98 - 99 %) als über den Harn, während sich bei Mensch und Ratte Niere und Darm in der Ausscheidungsmenge des Phosphors die Waage halten.

Die entsprechenden Verhältnisse bei wachsenden Schweinen sind aus der Tabelle 6 ersichtlich. Hier sind sowohl die absoluten Werte als auch die Quotienten zwischen dem Exkretionsumfang des Darmes und der Niere zusammengestellt. Die hierbei durch den Darm ausgeschiedenen Phosphormengen sind hier allerdings nicht, wie das verbreitet geschehen ist, auf den Gesamt-Faeces-Phosphor bezogen, sondern nur auf den endogenen, aus dem Stoffwechsel stammenden Anteil. Dieser ist in der Tabelle gleich 1 gesetzt.

Im einzelnen ergibt sich, daß normal ernährte Schweine 66,2 % des endogenen Phosphors über den Harn exkretieren. Damit entfallen auf die Ausscheidungsrate über den Darmkanal 1/3 der täglichen Exkretion, die zusammengenommen im Mittel 1,2 g P betrug. Sowohl die Höhe der Exkretion als auch ihre Verteilung auf Niere und Darmkanal ändert sich aber bei einem allgemein, quantitativen Nährstoff- oder aber einem Phosphormangel (Ration III Versuch 17 - 18, Ration II, Versuch 8 - 12). Die Exkretionsrate wird dabei scharf reduziert, in den Versuchen 9 - 12 bis auf 0,061 g täglich, das sind 5 % der sonst festgestellten Menge. Der Anteil, der bei diesen Versuchen über den Darmkanal ausgeschieden wurde, liegt hier bei 63,7 % der Gesamtausscheidung, also umgekehrt, wie wir es sonst beobachtet haben. Unter diesen Umständen ist es verständlich, daß bei künftigen P-Bilanzuntersuchungen die Fraktion des endogenen Kot-Phosphors unter allen Umständen berücksichtigt werden muß. Hierbei bietet sich die dynamische Isotopenverdünnungsmethode als Mittel der Wahl an.

Methodisches

Das Prinzip dieses Verfahrens beruht bekanntlich auf dem Vergleich der spezifischen Phosphoraktivität im Trichloressigsäurefiltrat des Serums (TCF) zur spezifischen Phosphoraktivität der Faeces. Unter der Annahme einer vollständigen Resorption des Nahrungs-Phosphors müßten beide Größen denselben Wert besitzen. Da jedoch in den Faeces immer noch unverdaute oder unverdauliche Phosphoranteile vorhanden sind, ist ihr chemisch zu messender Phosphorgehalt größer als das am TCF zu messende Verhältnis zum radioaktiven Phosphor.

Diese Beziehung gilt jedoch erst dann, wenn sich im Organismus der parenteral injizierte Indikator-Phosphor (in unserem Fall Orthophosphat) auf sämtliche Phosphorfraktionen des Organismus gleichmäßig verteilt hat. Zu Beginn der Versuche wurde an 2 Schweinen der Aktivitätsverlauf zwischen dem 2. und dem 21. Tag nach subcutaner Injektion von radioaktivem Phosphat verfolgt. Die als "steady state" bezeichnete gleichmäßige Verteilung stellte sich durchschnittlich am 12. Tag nach der radioaktiven Injektion ein. Im Gegensatz hierzu fanden LÖRCHER (25) und SEUSS (42) bei Schafen und Jungrindern den Eintritt des "steady state" am 7. bzw. 8. Tag post injektionem. In Übereinstimmung mit diesen und anderen Autoren konnte festgestellt werden, daß die spezifische Aktivität des TCF jeweils mit der 24 Stunden später exkretierten Faecesmenge verglichen werden muß.

Zur Bestimmung der spezifischen Aktivitäten in den genannten Proben wurden alternierend Analysen von TCF bzw. Harn und der 24 Stunden später angefallenen Faecesmenge durchgeführt. Es wurden jeweils die Mittelwerte von 5 Einzelwerten errechnet.

LOFGREEN und Mitarbeiter (22) empfehlen, die während der Versuche angefallenen Kotmengen zu sammeln, zu homogenisieren und daraus chemische und physikalische Durchschnittswerte zu ermitteln. Dies würde selbstverständlich eine begrüßenswerte Vereinfachung der Resorptionsversuche bedeuten. Während der ersten Versuchsreihe wurde diese Empfehlung an 4 Schweinen nachgeprüft, wobei bei allen Tieren der chemisch feststellbare Phosphor mit den Durchschnittswerten aus den Einzelanalysen übereinstimmte, die spezifische Aktivität aber aus nicht bekannten Gründen um annähernd 10 % zu niedrig lag.

Weiterhin ist die Frage untersucht worden, ob statt der spezifischen Phosphor-Aktivität des TCF nicht auch diejenige einer anderen, noch leichter zugänglichen Körperflüssigkeit, nämlich des Harns zur Messung verwendet werden

kann. KJERULF-JENSEN (17) fand 1941 dieses Verfahren für Ratten durchführbar, während LOFGREEN und KLEIBER (22) und LÖRCHER (25) bei Schafen keine Ähnlichkeit zwischen den spezifischen Aktivitäten dieser beiden Körperflüssigkeiten finden konnten. SEUSS (42) stellte 1959 dagegen gerade bei Schafen eine sehr gute Übereinstimmung fest.

Es ist bisher nicht gelungen, für diese Inkongruenz eine befriedigende Erklärung zu finden. Da die wiederholte Blutentnahme beim Schwein schwierig ist, wurde in 25 Versuchen dieselbe Frage noch einmal aufgegriffen. Nur ein einziges Mal (Versuch Nr. 4) ergab sich zwischen beiden Flüssigkeiten eine vergleichbare spezifische Aktivität. In allen anderen Fällen ergaben sich keine gesicherten Beziehungen.

Normalerweise müßte angenommen werden, daß sich beide spezifischen Aktivitäten gleichen, da der Harnphosphor in seiner Gesamtheit aus dem Stoffwechsel stammt. Da im Harn im Gegensatz zum TCF des Serums meist relativ mehr inaktiver Phosphor enthalten ist, müßten die Glomeruli des Nierenparenchyms einen inhibierenden Einfluß auf die P^{32}-Ausscheidung ausüben. Eine solche selektive Einstellung gegenüber Radiophosphor ist durchaus nicht generell von der Hand zu weisen, zumal WERTUNOW (47) bei der Placenta des Rindes ähnliche Verhältnisse angetroffen hat. Injizierte er an kurz vor der Kalbung stehende Kühe Radiophosphor, so fand er post partum eine erheblich verringerte spezifische Phosphor-Aktivität im Blut der Neugeborenen gegenüber dem Blut der Muttertiere. Andererseits bedeutet eine solche Erklärung keine Einschränkung für die allgemeine Verwendung der Isotopenverdünnungsmethode, da eine selektive Eigenschaft, wenn überhaupt, nur in bestimmten Geweben vorhanden ist. Den Zellen des Darmes kommt mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit eine solche Fähigkeit nicht zu, wofür in großem Maße der Umstand zeugt, daß in allen Versuchen mit mehreren Tieren bei gleichem Futter (siehe z.B. Versuche 1 - 6) der Prozentsatz endogenen Kot-Phosphors übereinstimmte, auch wenn die spezifischen Aktivitäten erheblich differierten. Auch ist in diesen Versuchen die Menge des Harn-Phosphors ohne Rücksicht auf jenes Verhältnis der Aktivitäten bei allen Tieren mit gleicher Fütterung übereinstimmend.

Der Phosphor-Resorptionskoeffizient aus verschiedenen Rationen

Die bisher gewonnenen Resorptionsergebnisse von Nahrungs-Phosphor bei Nutztieren beziehen sich ausschließlich auf Wiederkäuer. Nach der im Abschnitt Literatur besprochenen Charakteristik des Phytin-Phosphors können diese Werte

nicht ohne weiteres für das Schwein zum Vergleich herangezogen werden. Deshalb soll hier die Phosphorverdaulichkeit der einzelnen Futtermischungen der Reihe nach besprochen werden:

In den Versuchen 1 - 6 erhielten 25 - 65 kg schwere Schweine die Ration I, deren Zusammensetzung aus der Tabelle 5 ersichtlich ist. Sie enthielt 0,58 % Gesamtphosphor, wovon 31,1 % anorganischer Herkunft aus Dicalciumphosphat und 68,9 % vegetabilen Ursprungs waren. 34,4 % der Gesamtphosphormenge waren als Phytin-Phosphor enthalten. Das Ca : P-Verhältnis belief sich auf 1,86 : 1.

An 4 Schweine (47 - 65 kg) wurden während der Vorfütterung und dem Versuch 2 kg der Ration I verfüttert. Hiermit erhielten sie täglich 11,6 g Phosphor, der eine Verdaulichkeit von 41,5 (42,5 40,3, 40,9 42,5) % aufwies. Der bei 2 Tieren gemessene Phosphoransatz je kg Gewichtszuwachs betrug 4,873 und 4,758 g.

2 Schweine (27 - 35 kg) verzehrten ihrem Gewicht entsprechend während der Vorfütterung und dem Versuch 1,5 kg obiger Ration. Die tägliche Phosphorzufuhr betrug 8,7 g, wovon 39,1 (40,2 38,0) % resorbiert wurden. Je kg Zunahme retinierten die Tiere 4,247 und 4,674 g Phosphor.

Diese 6 Versuche zeigen, daß der Resorptionskoeffizient niedrig bleibt, wenn das P-Angebot den Bedarf überschreitet. Das tritt selbst dann ein, wenn reichliche Anteile von anorganischem Phosphor in der Ration enthalten sind, deren gute Resorbierfähigkeit bekannt ist.

In den Versuchen Nr. 7 bis 12 wurde die Ration II verfüttert, deren Zusammensetzung ebenfalls in der Tabelle 5 im einzelnen aufgeführt ist. Dieses Futter unterschied sich von der Ration I vor allem dadurch, daß der gesamte Phosphor (0,33 %) vegetabilen Ursprungs war. 51,5 % hiervon bestanden aus Phytinphosphor.

Die 2 Schweine im Versuch 7 und 8 (62 - 67 kg) erhielten täglich 2 kg der Ration II mit einer Tageszufuhr von 6,6 g Phosphor, der zu 45,6 (49, 1, 42,2) % resorbiert wurde. Die Retention je kg Zuwachs belief sich auf 4,156 und 3,869 g Phosphor.

Würden diese Werte rein rechnerisch durch Abzug des angeblich unverdaulichen Phytin-Phosphors berichtigt werden, so ergäbe sich bei 3,2 g Phosphor (3,4 g Phytin-P abgezogen) eine Verdaulichkeit von 94 (101 und 87) %. Dies ist unglaubhaft, so daß Anteile des Phytin-Phosphors für das Schwein verwertbar sein müssen. Aus diesem Grunde ist diese Frage in eigenen Versuchen angegangen worden.

Mit der Ration II waren in den Versuchen 9 und 10 2 Schweine (25 - 32 kg) gezwungen, mit nur 1 kg der Ration auszukommen. Bei einer Aufnahme von 3,3 g Phosphor ergab sich ein Resorptionskoeffizient von 39,6 (37,2, 42,0) %. Der Phosphor-Ansatz belief sich auf 4,0 und 4,178 g je kg Gewichtszunahme.

Um in diesen Versuchsanordnungen noch einen weiteren Schritt zu tun, wurden in den Versuchen Nr. 11 und 12 2 Schweine im Gewicht von 15 - 17 kg mit nur täglich 0,535 kg der Ration II gefüttert. Sie erhielten damit nur 1,765 g Phosphor zugeführt. Die Verwertung des Phosphors betrug 34,6 (33,5 und 35,7) %. Der Phosphor-Ansatz je kg Zuwachs belief sich auf 4,075 und 4,294 g.

Hieraus ergibt sich, daß Mastschweine aus einer Ration mit rein vegetabilem Phosphor nicht genügend von diesem Mineral resorbieren können. Trotz stark eingeschränkter Exkretionsrate ist kein optimaler Ansatz pro kg Gewichtszunahme zu erreichen. Dieses Bild ändert sich auch dann nicht, wenn die verabfolgte Gesamtfuttermenge bei gleichbleibendem P-Gehalt reduziert wird.

Die Versuche Nr. 13 bis 18 mit der Ration III (Tabelle 5) erlauben einen Vergleich gegenüber der Ration II, da hier die 0,335 % Phosphor zu 48,3 % aus Dicalciumphosphat stammten, also anorganischer Herkunft waren. Der Phosphor vegetabiler Herkunft konnte mit 51,7 % gegenüber Ration II um die Hälfte herabgesetzt werden, ebenso war der 20,1 %ige Phytinphosphoranteil niedriger, ohne daß aber das Ca : P-Verhältnis mit 2,45 : 1 grundlegend verschoben wurde.

Die Schweine in den Versuchen 13, 14, 15 und 16 (73 - 87 kg) erhielten mit 2 kg Futter täglich 6,7 g Phosphor zugeführt, von dem in Durchschnitt mit 69,5 (69,8, 66,5, 71,5 und 70,1) % resorbiert wurde. Der Phosphor-Ansatz je kg Zuwachs war bei den Versuchen 15 und 16 4,837 und 5,174 g und lag damit nach den Ergebnissen von BECKER (2) im optimalen Bereich.

Im Versuch 17 war ein Schwein im Gewicht von 23 - 27 kg gezwungen, nur mit 1 kg dieser Ration auszukommen. Bei einer Zufuhr von 3,35 g Phosphor je Tage wurde dieser mit 67,7 % verdaut. Das Tier retinierte je kg Zuwachs 5,596 g Phosphor.

In Versuch 18 wurden einem weiteren Tier mit 18 - 20 kg Gewicht nur 0,535 kg dieser Ration III und damit 1,792 g Phosphor zugeführt, von dem 57,2 % verdaut wurde. Der Phosphor-Ansatz betrug 5,361 g.

Im Vergleich zu den Versuchen mit der Ration II zeigt sich, daß ein optimaler Resorptionskoeffizient zu erwarten ist, wenn

a) die Schweine eine dem Bedarf entsprechende P-Zufuhr (6,7 g täglich) erhalten und

b) die verfütterten P-Verbindungen nicht ausschließlich vegetabiler Herkunft sind. Der Resorptionskoeffizient liegt, wenn 48,3 % der Gesamt-P-Menge aus Dicalciumphosphat besteht, mit 69,5 % in einer Größenordnung, wie er für Schafe und Jungrinder gefunden wurde (25, 42, 44).

Ein quantitativer Nährstoffmangel hat zunächst einen deutlichen Einfluß auf die Exkretionsrate. Sie wird - sowohl eine ausreichende P-Versorgung sichergestellt war - deutlich reduziert. Diese Wirkung ist also nicht spezifisch an die Höhe der P-Zufuhr gebunden. Der Resorptionskoeffizient wird bei ausreichender Resorbierfähigkeit der angebotenen P-Verbindungen durch den Nährstoffmangel zunächst nicht beeinflußt. Er sinkt erst dann ab, wenn in Anbetracht der herabgesetzten Exkretionsrate eine überreichliche Retention droht.

In dem Bestreben, die Verhältnisse der Phosphor-Resorption nicht nur bei quantitativem, sondern auch bei qualitativem Nährstoffmangel (insbesondere an verdaulichem Rohprotein) kennenzulernen, wie er in vielen Betrieben beobachtet werden kann, wurde das Futter IV als Modell gewählt (Tabelle 5). Es bestand aus 228 g der Futtermischung II und 666 g Kartoffelflocken und enthielt in dieser Zusammensetzung 2,25 g Phosphor, der rein vegetabiler Herkunft war. Der Phytin-Phosphor-Anteil betrug aber nur 0,416 g = 18,4 %. Im Versuch 20 wurde diese Ration IV an ein Tier verfüttert. Es verwertete die 2,25 g Phosphor zu 41,4 %. Der Phosphor-Ansatz belief sich auf 5,062 g je kg Zunahme.

Ein weiteres Schwein erhielt im Versuch 21 das Futter V (Tabelle 5) mit derselben Menge Phosphor (2,25 g). Diese Ration V unterschied sich von der vorherigen (IV) nur insofern, als hier die Ration III anstelle der Mischung II als Getreideanteil verwendet wurde und somit 0,36 g = 16 % anorganischer Phosphor aus Dicalciumphosphat in diese Ration kamen. Die zugeführten 2,25 g Phosphor wurden zu 43,9 % resorbiert. Es ergab sich eine Phosphor-Retention von 4,885 g Phosphor je kg Zuwachs. In beiden Fällen waren bei dem Mangel an Eiweiß nur geringe Zunahmen (Versuch 20 = 80 g, Versuch 21 = 70 g) je Tier und Tag zu erzielen, ohne daß hierdurch im Vergleich zu den optimal ernährten Tiergruppen ein veränderter Phosphor-Ansatz zu beobachten war. Ein primär qualitativer Nährstoffmangel wird demnach hin-

sichtlich Resorptionskoeffizient und Ansatz in derselben Weise beantwortet wie eine quantitative Nahrungsbeschränkung:
Die Exkretionsrate wird reduziert, der Resoprtionskoeffizient nur dann vermindert, wenn der optimale Ansatz sichergestellt ist. Eine ungünstige Beeinflussung des P-Stoffwechsels kann nach diesen Ergebnissen nicht abgeleitet werden.

Versuche zur Phosphor-Ausnützung aus phytinhaltigen Verbindungen

Durch das Fehlen geeigneter synthetischer Diäten konnte die Frage der Phytin-Phosphor-Ausnützung beim Schwein nur auf der Basis einer nicht optimalen Grundfutterration studiert werden.

Im Versuch Nr. 22 wurden 1 Tier (28 kg) zu 1 kg Weizenmehl mit 0,07 % Phosphor 3,25 g Ca-Mg-Inosithexaphosphat mit einem Gehalt von 0,5 g Phytin-Phosphor zugefüttert. Bei noch günstigem Ca : P-Verhältnis von 1 : 1,32 waren in der Gesamtration 1,2 g Phosphor enthalten, von dem 0,514 g = 42,8 % auf Phytin-Phosphor entfielen. Der Phosphor-Resorptionskoeffizient betrug 63 %. Wenn auch diese 4 Wochen lang verabfolgte Ration nicht ein vollwertiges und letztlich gültiges Ergebnis erwarten läßt, so zeigt der Resorptionskoeffizient einen hohen Wert an. Er ermöglicht einen noch gerade als ausreichend anzusehenden Ansatz von 4,54 g Phosphor je kg Gewichtszunahme.

Wird die Verwertung vegetabilen Phosphors mit allen Vorbehalten auf 70 % geschätzt, so würde dies hier bedeuten, daß ein Anteil von aufgerundet 53 % des Phytin-Phosphors zur Resorption gekommen ist.

Im Versuch 23 wurden einem 28 kg schweren Tier neben 1 kg Weizenmehl 6,5 g Ca-Mg-Inosithexaphosphat = 1,0 g Phytin-Phosphor zugegeben, so daß ihm 1,7 g Gesamt-Phosphor zur Verfügung standen. Der Phytin-Phosphor-Anteil betrug hier 58,6 %. Der Phosphor-Resorptionskoeffizient wurde auf 47,5 % ermittelt. Unter Errechnung einer 70 %igen Verdaulichkeit des restlichen vegetabilen Phosphors würde die Resorption von Phytin-Phosphor 32 % betragen.

Das Schwein im Versuch 24 mit 30 kg Gewicht, nahm neben 1 kg Weizenmehl 13,0 g Ca-Mg-Inosithexaphosphat mit 2,0 g Phytin-Phosphor zu sich. Ihm standen 2,7 g Gesamt-Phosphor zur Verfügung, der 2,014 g = 74,4 % Phytin-Phosphor enthielt. Der gemessene Resorptionskoeffizient betrug 29,9 %.

Bei Annahme einer 70 %igen Verdaulichkeit des restlichen vegetabilen Phosphors würde die Phytin-Phosphor-Verwertbarkeit bei 16 % liegen.

Im Versuch Nr. 25 erhielt ein Schwein mit 31 kg Gewicht neben 1 kg Weizenmehl 19,5 g Ca-Mg-Inosithexaphosphat mit 3,0 g Phytin-Phosphor. Es standen ihm somit bei einem Anteil von 3,014 g = 81,4 % Phytin-Phosphor 3,7 g Gesamt-Phosphor zur Verfügung. Der Resorptionskoeffizient betrug 22,7 %, was unter der Annahme einer 70 %igen Verdaulichkeit des restlichen vegetabilen Phosphors einer Phytin-Phosphor-Verdaulichkeit von 12 % entsprechen würde.

Der mit höherer P-Zufuhr absinkende Resorptionskoeffizient war auch schon bei den übrigen Versuchen festzustellen und kann demnach nichts mit dem Phytin-Phosphor direkt zu tun haben. Der Phosphor-Bedarf für das mit dieser Testration erzielte Wachstum darf mit etwa 1,8 g pro Tag angenommen werden, woraus sich angenähert - das heißt unter der Voraussetzung einer 70 %igen Phosphor-Verwertung aus den übrigen Phosphor-Verbindungen eine 30 %ige Phytin-Phosphor-Verwertung ergibt.

Zu einem ähnlichen Ergebnis führt der Versuch Nr. 19. Hier wurden zusätzlich zu der aus Versuch Nr. 18 bekannten Ration 1,55 g Phytin-Phosphor als Ca-Mg-Inosithexaphosphat verfüttert. Unter der Voraussetzung, daß sich der Resorptionskoeffizient der übrigen Phosphor-Verbindungen entsprechend dem Parallelversuch Nr. 18 nicht ändert, ist hier eine 26,5 %ige Phytin-Phosphor-Verwertung zu erkennen.

Daß der bakterielle Aufschluß von Ca-Mg-Inosithexaphosphat beim Schwein tatsächlich in nennenswertem Umfang erfolgt, bestätigen weiterhin die bei 8 Tieren vorgenommenen Bestimmungen im Futter und in den Faeces. Die unmittelbar nach der Defäkation abgenommenen Kotanteile, welche bei 110 ^{o} C getrocknet wurden, zeigten einen 72 - 78 %igen fermentativen Aufschluß des Phytins. Auch BECKER (3) kommt zu ähnlichen Ergebnissen. Die Diskrepanz zwischen dem weitgehend in den Faeces aufgeschlossen erscheinenden Phytin-Phosphor und der geringen Resorptionsrate muß darauf zurückgeführt werden, daß der Aufschluß hauptsächlich erst in den hintersten Darmabschnitten stattfindet, in denen eine Resorption nicht mehr in vollem Umfang stattfinden kann.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

1. An wachsenden Schweinen wurden Resorptionsbestimmungen nach der Isotopenverdünnungsmethode vorgenommen, um den Resorptionskoeffizienten und den Ansatz für Phosphor, sowie seinen Exkretionsmodus zu ermitteln.

2. Da die Exkretion von Phosphor beim Schwein in den vorliegenden Versuchen bei normaler Ernährung durchschnittlich zu 23,8 % über den Darm erfolgt, eine Größe, die bei qualitativem oder quantitativem Nährstoffmangel erheblich ansteigen kann, ist eine exakte Aussage über die Resorption dieses Minerals nur dann möglich, wenn eine Fraktionierung des Faeces-Phosphors vorgenommen wird. Für den praktischen Einsatz empfiehlt sich die radioaktive Signierung des Stoffwechsel-Phosphors nach der dynamischen Isotopenverdünnungsmethode.

3. Der Phosphor-Ansatz bei wachsenden Schweinen zwischen 15 und 80 kg lag im Durchschnitt von 21 Tieren bei 4,68 g Phosphor je kg Zunahme. Er ergibt sich aus der Höhe des Resorptionskoeffizienten und der Exkretionsrate, die beiden verschiedenen Gesetzmäßigkeiten unterliegen.

4. Eine Futtermischung (Nr. I) mit 5,8 g Phosphor je kg, in der 31 % aus Dicalciumphosphat und 34,4 % aus Phytin-Phosphor stammten, zeigte bei einer täglichen Gabe von 2 kg (11,6 g Phosphor) einen Resorptionskoeffizienten von 40,4 % und bei einer Verfütterung von 1,5 kg (8,7 g P) an jüngere Tiere einen von 39,1 %.

5. Eine Ration ohne Beimischung von anorganischem Phosphor aus Mineralstoffen (Nr. II) mit 3,3 g Phosphor je kg, ergab nach Verfütterung von 2 kg einen 45,6 %igen, bei Darreichung von 1 kg einen 39,6 %igen und bei Verabfolgen von nur 0,535 kg einen 34,8 %igen Resorptionskoeffizienten für Phosphor.

6. Dagegen zeigte die Futtermischung Nr. III mit 3,35 g Phosphor je kg, wovon 48,3 % auf Dicaciumphosphat entfielen, bei Verfütterung von 2 kg eine 69,5 %ige, bei Zufuhr von 1 kg eine 67,7 %ige und bei der Gabe von nur 0,535 kg eine 57,2 %ige Resorption.

7. Hieraus folgt:

   a) Eine den Bedarf überschreitende Zufuhr von Phosphor (Ration I und III) führt nicht zu einer vermehrten, sondern zu einer verringerten Phosphorresorption, denn der Phosphoransatz je kg Gewichtszunahme wird nicht verändert.

   b) Die Verfütterung eines reinen Gerste-Sojaschrot-Gemisches (Ration II) mit ausschließlich aus pflanzlichen Materialien stammendem Phosphor macht einen Mineralstoffzusatz notwendig, denn das Schwein ist nicht in der Lage diese zu 51,5 % aus Phytin-Phosphor zusammengesetzten Phosphorverbindungen so auszunutzen, daß ein optimaler Ansatz pro kg Gewichtszunahme möglich ist.

   c) Es genügt einer solchen Ration 1 % Dicalciumphosphat zuzusetzen (Ration III), dann liegen Resorptionskoeffizient mit etwa 70 %, Exkretionsrate mit täglich 1,2 g und Ansatz mit durchschnittlich 5 g Phosphor pro kg Gewichtszunahme im optimalen Bereich.

   d) Auch weitere Testversuche mit Ca-Mg-Inosithexaphosphat lassen vermuten, daß ein Anteil von mehr als 50 % Phytin-Phosphor am Gesamt-Phosphor-Gehalt der Ration einen zusätzlich inhibierenden Einfluß auf die Phosphor-Verwertung besitzt, so daß diese nicht mehr aus den charakteristischen Daten der Einzelkomponenten berechenbar ist.

8. Die Reduktion der Exkretionsrate kann Ursache eines Phosphormangels bzw. einer schweren Aufschließbarkeit der angebotenen Phosphor-Verbindungen sein. Unabhängig hiervon wird sie aber auch durch einen quantitativen oder qualitativen Nährstoffmangel, vor allem an verdaulichem Rohprotein ausgelöst (Versuche mit Ration III, IV und V). Der Resorptionskoeffizient blieb hiervon unbeeinflußt. Mit ihm wird lediglich eine über den Bedarf hinausgehende Phosphoraufnahme verhindert. Der Phosphorhaushalt wird demnach durch anderweitige Nährstoffmißverhältnisse im Prinzip nicht negativ beeinflußt.

9. Testversuche mit Zulagen von Ca-Mg-Inosithexaphosphat lassen eine Verwertbarkeit des Phytin-Phosphors in Höhe von etwa 25 % vermuten.

Tabelle 4

Versuch Nr. 15 als Beispiel für die tabellarische Erfassung der einzelnen Versuchsergebnisse

	Datum	11.7.59	13.7.	15.7.	17.7.	19.7.
T	Extinktion	0,39	0,38	0,38	0,39	0,38
C	P-Gehalt in mg je 2 ml	0,069	0,067	0,067	0,069	0,067
F	Aktivität	69,3	49,3	36,9	30,6	25,3
	Spezifische Aktivität	1005	736	552	443	378
	Menge in ml	1400	1650	1820	2100	2300
H	Extinktion	1,09x4	1,03x4	0,98x4	0,85x4	0,61x4
A	P-Gehalt in mg je 2 ml	0,776	0,736	0,704	0,608	0,432
R	Aktivität	427	330	259	177	101
N	Spez. Aktiv.	562	449	368	291	235
	Datum	12.7.59	14.7.	16.7.	18.7.	20.7.
K	Gewicht TS in g	77	65	63	60	53
O	Extinktion	0,80x4	0,93x4	0,88x4	0,99x4	1,16x4
T	P-Gehalt in mg je 2 ml	0,576	0,664	0,632	0,706	0,832
	Aktivität	66,6	52,7	38,4	33,3	32,3
	Spez. Aktiv.	115,7	79,3	60,7	47,5	38,8

Fütterung: 2 kg Futtermischung III

Impfung: 2.7.59, 3,0 mC P^{32}

Gesamt-P: 6,7 g

davon vegetabiler P: 3,5 g
hiervon Phytin-P: 1,35 g
anorg. P aus Dicalc.: 3,2 g

Ca : P-Verhältnis = 2,45 : 1

Aufstellung des Kot-Phosphors

Datum	12.7.		14.7.		16.7.		18.7.		20.7.	
Anteile g %	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
totaler Kot-P	2,21	100	2,16	100	1,99	100	2,11	100	2,21	100
endog. Kot-P	0,25	11,2	0,22	10,4	0,21	10,7	0,22	10,3	0,22	10,0
exog. Kot-P	1,96	88,5	1,93	89,3	1,77	89,0	1,89	89,4	1,98	89,7
scheinb. res. P. = scheinb. Verdaul. d. F-P	4,48	66,8	4,54	67,7	4,71	70,3	4,58	68,4	4,50	67,1
tats. res. P. = wahre Verdaul.	4,74	70,6	4,77	71,2	4,93	73,4	4,81	71,7	4,72	70,5
endog. Kot-P zu Harn-P	1 : 4,2		1 : 5,2		1 : 5,8		1 : 5,6		1 : 4,3	

Tabelle 5

Futterbezeichnung	I	II	III	IV	V	Versuche 22	23	24	25
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Gerste	81,5	83,3	-	21,5	-	-	-	-	-
Weizenmehl Type 405	-	-	82,4	-	20,74	100	100	100	100
Kartoffelflocken	-	-	-	74,26	74,84	-	-	-	-
Sojaschrot, getostet	15,0	15,0	15,0	3,8	3,77	-	-	-	-
Dicalciumphosphat	1,0	-	0,9	-	0,22	-	-	-	-
Ca-Mg-Inosithexaphosphat	-	-	-	-	-	3,25 g	6,5 g	13,0 g	19,5 g
$CaCO_3$	1,0	0,5	0,5	0,13	0,12	-	-	-	-
NaCl, jodiert	0,5	0,5	0,5	0,13	0,12	-	-	-	-
Vitamin-Vormischung	1,0	0,7	0,7	0,18	0,175	-	-	-	-
Trockensubstanz	89,2	88,39	88,07	88,97	88,91	88,86	89,66	89,98	89,73
Asche	4,94	4,05	2,78	3,82	3,51	0,98	1,26	2,63	3,17
Rohfaser	5,41	6,49	1,26	2,89	1,56	0,08	0,08	0,08	0,08
Rohfett	1,86	1,77	1,29	0,78	0,65	1,04	1,04	1,04	1,04
Rohprotein	15,72	15,03	16,39	8,56	8,91	9,69	9,69	9,69	9,69
N-freie Extr. Stoffe	61,26	61,05	66,35	72,93	74,25	77,9	78,8	77,40	77,21
Ges.-P. im Futter	0,58	0,33	0,335	0,25	0,25	0,12	0,17	0,27	0,37
davon vegetab. Ursprungs	68,9	100	51,7	100	84,0	58,3	41,1	25,9	18,9
Phytin-P am Ges.-P	34,4	51,5	20,1	18,4	8,1	42,8	59,8	74,5	81,4
anorg. P aus Dicalc.Phos.	31,1	-	48,3	-	16,0	-	-	-	-
Calcium	1,08	0,49	0,822	0,15	0,23	0,068	0,122	0,23	0,334
Calcium : Phosphor	1,86 : 1	1,48 : 1	2,45 : 1	1 : 1,68	1 : 1,09	1 : 1,76	1 : 1,34	1 : 1,18	1 : 1,107
IE Vit. D_3 je kg Futter	660	460	460	115	103	-	-	-	-

Tabelle 6

Versuch Nr.	1			2			3			4			5			6			7			8			9		
Gewichtsklasse	27 - 35 kg			25 - 33 kg			47 - 61 kg			47 - 61 kg			49 - 64 kg			50 - 65 kg			60 - 75 kg			62 - 77 kg			25 - 29 kg		
Futterbezeichnung	I			I			I			I			I			I			II			II			II		
	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %
Tgl.Gesamt-P-Einnahme	8,7			8,7			11,6			11,6			11,6			11,6			6,6			6,6			3,3		
davon vegetabilen Ursprungs	6,0	68,9		6,0	68,9		8,0	68,9		8,0	68,9		8,0	68,9		8,0	68,9		6,6	100		6,6	100		3,3	100	
davon Phytin-Phosphor	3,0	34,4		3,0	34,4		4,0	34,4		4,0	34,4		4,0	34,4		4,0	34,4		3,4	51,5		3,4	51,5		1,7	51,5	
anorg.P aus Dicalciumphos.	2,7	31,1		2,7	31,1		3,6	31,1		3,6	31,1		3,6	31,1		3,6	31,1										
Tgl.Gesamt-P-Ausscheidg.im Kot	5,6	100	3,8	5,66	100	5,4	7,067	100	1,7	7,19	100	2,2	7,194	100	4,6	5,971	100	9,4	3,532	100	8,5	3,98	100	3,5	2,124	100	6,7
davon endogener Herkunft	0,418	7,4	5,4	0,465	8,2	7,3	0,344	4,8	16,2	0,268	3,7	14,1	0,348	4,8	16,3	0,309	4,4	13,0	0,173	4,8	16,1	0,163	4,1	10,8	0,052	2,4	9,6
Kot-P exogener Herkunft	5,182	92,6	3,9	5,361	91,8	6,1	6,723	95,2	2,1	6,924	96,3	0,7	6,846	95,2	6,1	6,662	95,6	12,5	3,359	95,2	16,0	3,818	95,9	3,6	2,072	97,6	6,7
Scheinb.resorb.P in g Scheinb.Verdaul.d.Futter-P in %	3,08	35,4	7,0	2,874	33,0	10,9	4,533	39,4	3,3	4,410	38,0	0,6	4,406	37,9	8,2	4,629	39,8	13,5	3,068	46,4	9,6	2,619	39,7	5,3	1,176	35,7	12,4
Tatsächl.resorb.P in g Wahre Verdaul.d.Futter-P in %	3,50	40,2	6,0	3,31	38,0	8,7	4,877	42,5	3,0	4,678	40,3	0,5	4,744	40,9	4,6	4,939	42,5	13,1	3,242	49,1	8,7	2,782	42,2	4,8	1,228	37,2	11,4
Vom tats.resorb. P über Harn und endog.Kot-P ausgeschieden	1,144	32,6	5,0	1,070	32,2	11,1	1,027	21,1	14,8	0,976	20,8	8,8	1,446	30,4	12,8	1,308	26,4	11,4	0,259	7,9	13,3	0,267	9,6	17,4	0,088	7,2	9,4
davon endogener Kot-P	0,418	11,9	5,4	0,465	14,0	7,3	0,344	7,1	16,2	0,269	5,7	14,1	0,348	7,3	16,3	0,309	5,4	13,0	0,173	5,3	16,1	0,163	5,8	10,8	0,052	4,2	9,6
Harn-P v.tats.resorb. P	0,726	20,7	4,6	0,605	18,2	15,0	0,683	14,0	13,4	0,708	15,1	5,2	1,098	23,1	9,3	0,999	21,0	9,8	0,086	2,6	11,1	0,104	3,8	24,0	0,036	2,9	9,2
Retinierter P aus der Gesamt-P-Einnahme	2,356	27,0	8,2	2,24	25,7	11,2	3,850	33,2	2,4	3,702	31,9	1,8	3,298	28,4	16,5	3,631	31,3	15,6	2,984	45,5	8,9	2,515	38,1	6,4	1,14	34,5	12,3
Retinierter P aus dem tats. resorbierten P	2,356	67,4	8,2	2,24	67,8	11,2	3,850	78,9	2,4	3,702	79,2	1,8	3,298	69,6	16,5	3,631	73,6	15,6	2,984	92,1	8,9	2,515	90,4	6,4	1,14	92,8	12,3
Tgl.Gewichtszunahme	504 g			525 g			790 g			778 g			-			-			718 g			650 g			280 g		
P- Ansatz je kg Zunahme	4,674 g			4,247 g			4,873 g			4,758 g			-			-			4,156 g			3,869 g			4,0 g		
Verhältnis endog. Kot-P: Harn-P	1 : 1,7			1 : 1,3			1 : 1,9			1 : 2,6			1 : 3,1			1 : 3,2			1 : 0,5			1 : 0,6			1 : 0,7		

Tabelle 6

Versuch Nr.	10			11			12			13			14			15			16			17		
Gewichtsklasse	28 - 32 kg			14 - 16 kg			15 - 17 kg			73 - 87 kg			72 - 86 kg			75 - 84 kg			73 - 81 kg			23 - 27 kg		
Futterbezeichnung	II			II			II			III			III			III			III			III		
	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %
Tgl.Gesamt-P-Einnahme	3,3			1,765			1,765			6,7			6,7			6,7			6,7			3,35		
davon vegetabilen Ursprungs	3,3	100		1,765	100		1,765	100		3,5	51,7		3,5	51,7		3,5	51,7		3,5	51,7		1,75	51,7	
davon Phytin-Phosphor	1,7	51,5		0,909	51,5		0,909	51,5		1,35	20,1		1,35	20,1		1,35	20,1		1,35	20,1		0,675	20,1	
anorg.P aus Dicalciumphos.										3,2	48,3		3,2	48,3		3,2	48,3		3,2	48,3		1,6	48,3	
Tgl.Gesamt-P-Ausscheidg.im Kot	1,945	100	5,1	1,234	100	5,7	1,167	100	2,0	2,337	100	12,7	2,493	100	8,0	2,131	100	4,3	2,230	100	2,4	1,114	100	5,0
davon endogener Herkunft	0,031	1,6	12,0	0,042	3,4	7,3	0,033	2,8	13,0	0,317	13,5	9,0	0,251	10,7	10,3	0,225	10,5	6,0	0,232	10,4	8,8	0,036	3,2	11,6
Kot-P exogener Herkunft	1,914	98,4	5,2	1,192	96,6	8,4	1,134	97,2	11,0	2,02	86,5	10,4	2,242	89,3	7,8	1,906	89,5	4,4	1,999	89,6	2,6	1,078	96,8	5,2
Scheinb.resorb.P in g	1,355	41,0	7,8	0,551	31,2	12,4	0,598	33,9	21,3	4,362	65,1	5,0	2,207	62,7	4,9	4,562	68,1	2,1	4,470	66,7	1,2	2,235	66,7	2,6
Scheinb.Verdaul.d.Futter-P in %																								
Tatsächl.resorb.P in g	1,386	42,0	7,3	0,593	33,5	11,6	0,631	35,7	17,3	4,667	69,8	4,5	4,458	66,5	4,2	4,794	71,5	1,6	4,701	70,1	1,1	2,270	67,7	2,4
Wahre Verdaul.d.Futter-P in %																								
Vom tats.resorb. P über Harn und endog.Kot-P ausgeschieden	0,063	4,5	14,0	0,055	9,3	17,5	0,047	7,4	20,4	1,116	23,9	10,5	1,014	22,7	9,5	1,393	29,0	13,4	1,322	28,1	7,3	0,216	9,5	11,4
davon endogener Kot-P	0,031	2,2	12,0	0,042	7,0	7,3	0,033	5,2	13,0	0,317	6,7	9,0	0,251	5,6	10,3	0,225	4,7	6,0	0,232	4,9	8,8	0,036	1,6	11,6
Harn-P v.tats.resorb. P	0,032	2,3	16,0	0,013	2,3	27,7	0,014	2,2	37,9	0,799	17,2	12,0	0,763	17,1	8,7	1,168	24,3	10,7	1,090	23,1	5,7	0,180	7,9	11,2
Retinierter P aus der Gesamt-P-Einnahme	1,323	40,1	11,9	0,538	30,5	18,8	0,584	33,1	21,8	3,551	53,0	6,6	3,444	51,4	6,9	3,401	50,7	2,2	3,379	50,4	2,0	2,054	61,3	2,0
Retinierter P aus dem tats. resorbierten P	1,323	95,4	11,9	0,538	90,7	18,8	0,584	92,6	21,8	3,551	76,1	6,6	3,444	77,3	6,9	3,401	71,0	2,2	3,379	71,8	2,0	2,054	91,5	2,0
Tgl.Gewichtszunahme	319 g			132 g			136 g			-			-			703 g			653 g			367 g		
P- Ansatz je kg Zunahme	4,178 g			4,075 g			4,294 g			-			-			4,837 g			5,174 g			5,596 g		
Verhältnis endog.Kot-P: Harn-P	1 : 1			1 : 0,3			1 : 0,4			1 : 2,5			1 : 3,0			1 : 5,1			1 : 4,7			1 : 5		

Tabelle 6

Versuch Nr.	18			19			20			21			22			23			24			25		
Gewichtsklasse	17 - 19 kg			19 - 21 kg			40 - 41 kg			42 - 43 kg			27 - 29 kg			28 - 30 kg			28 - 30 kg			29 - 31 kg		
Futterbezeichnung	III			III + Inosit			IV			V			VI			VI			VI			VI		
	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %	g	%	± %
Tgl. Gesamt-P-Einnahme	1,792			3,342			2,25			2,25			1,2			1,7			2,7			3,7		
davon vegetabilen Ursprungs	0,93	51,7		2,48	74,2		2,25	100		1,89	84,0		1,2	100		1,7	100		2,7	100		3,7	100	
davon Phytin-Phosphor	0,36	20,1		1,86	55,6		0,416	18,4		0,184	8,1		0,514	42,8		1,014	58,6		2,014	74,4		3,014	81,4	
anorg.P aus Dicalciumphos.	0,865	48,3		0,865	25,8					0,36	16,0													
Tgl.Gesamt-P-Ausscheidg. im Kot	0,789	100	7,4	2,187	100	5,5	1,505	100	6,4	1,450	100	3,0	0,520	100	21,3	0,985	100	3,8	2,044	100	4,5	2,925	100	3,6
davon endogener Herkunft	0.023	2,9	18,2	0,435	19,8	30,4	0,187	12,4	5,0	0,190	13,1	15,3	0,075	14,4	25,4	0,093	9,5	16,2	0,153	7,4	24,9	0,167	5,8	13,2
Kot-P exogener Herkunft	0,766	97,1	8,0	1,752	80,2	3,4	1,318	87,6	7,1	1,260	86,9	8,9	0,445	85,6	27,2	0,892	90,5	2,2	1,891	92,6	3,2	2,758	94,2	3,1
Scheinb.resorb.P in g Scheinb.Verdaul.d.Futter-P in %	1,002	55,9	6,0	1,159	34,6	10,1	0,744	33,1	12,6	0,806	35,5	21,6	0,680	56,6	17,8	0,714	42,0	5,1	0,565	24,3	8,7	0,775	21,0	14,2
Tatsächl.resorb.P in g Wahre Verdaul.d.Futter-P in %	1,025	57,2	5,5	1,435	47,8	4,4	0,932	41,4	9,8	0,99	43,9	3,9	0,755	63,0	15,2	0,807	47,5	2,6	0,809	29,9	8,2	0,842	22,7	10,5
Vom tats.resorb. P über Harn und endog.Kot-P ausgeschieden	0,136	13,2	26,1	0,580	40,5	18,8	0,527	56,5	22,3	0,648	65,4	12,2	0,346	45,8	22,7	0,328	40,6	16,8	0,428	52,9	29,0	0,448	53,2	15,5
davon endogener Kot-P	0,023	2,2	18,2	0,435	30,3	30,4	0,187	20,0	5,0	0,190	19,2	15,3	0,075	9,9	25,4	0,093	11,5	16,2	0,153	18,9	24,9	0,167	19,8	13,2
Harn-P v.tats.resorb. P	0,113	11,0	34,1	0,145	10,2	7,3	0,340	36,5	40,7	0,458	46,2	10,2	0,271	35,9	20,0	0,235	29,1	17,4	0,275	14,0	33,1	0,281	33,4	17,9
Retinierter P aus der Gesamt-P-Einnahme	0,889	49,6	4,1	0,855	25,5	11,4	0,405	18,0	19,3	0,342	15,2	18,4	0,409	34,1	19,3	0,479	28,1	18,7	0,381	14,1	36,2	0,394	10,6	15,3
Retinierter P aus dem tats. resorbierten P	0,889	86,8	4,1	0,855	59,4	11,4	0,405	43,5	19,3	0,342	34,6	18,4	0,409	54,2	19,3	0,479	59,4	18,7	0,381	47,1	36,2	0,394	46,8	15,3
Tgl.Gewichtszunnahme	166 g			161 g			80 g			70 g			90 g			115 g			95 g			88 g		
P- Ansatz je kg Zunahme	5,361 g			5,310 g			5,062 g			4,885 g			4,544 g			4,163 g			4,010 g			4,431 g		
Verhältnis endog. Kot-P: Harn-P	1 : 5			1 : 0,3			1 : 1,8			1 : 2,4			1 : 3,6			1 : 2,5			1 : 1,8			1 : 1,7		

LITERATURVERZEICHNIS

1. ANDERSON, J.R.: J. Biol. Chem. 18, 425 (1914): 20, 463: 475: 483 (1915).

2. BECKER, M.: Mineralstoffe in der Fütterung der Schweine. Futter und Fütterung, Nr. 55, 437 (1955).

3. BECKER, M.: Phytin in der Tierernährung. Z. für landw. Forschung, 1, 64 (1950).

4. BERGEIN, O.: A method for the study of food utilization or digestibility. J. Biol. Chem., 70, 29 (1926).

   A method for the study of absorption in different parts of the gastrointestinal tract. J. Biol. Chem., 70, 47 (1926).

   The absorption of Calcium and Phosphorus in small and large intestines. J. Biol. Chem., 70, 51 (1926).

5. BRÜTZEL, K.: Studien über die Verdauungsphysiologie des Schweines. Med. vet. Diss. München (1952).

6. BUYSSE, F.: Het bepalen der endogene Feces-Phosphor met de radioactieve Phosphorisotop P-32. Medd. Landb.-Hocheschool, Gent, 17, 391 (1952).

7. CARREZ, A.: Nach J. Schormüller, R. Höhne und G. Würdig: Untersuchungen zur Bestimmung des Phytins. Z. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 9, 223 (1956).

8. CHIEWITZ, O., HEVESY, G.: Radioactive indicators in the study of Phosphorus metabolism in rats. Nature, 136, 754 (1935).

9. COHN, W.E., GREENBERG, D.M.: Studies in mineral metabolism with the aid of artificial radioisotopes. I. Absorption, distribution and excretion of Phosphorus. J. Biol. Chem., 123, 185 (1938).

10. EARLY, E.B.: Industr. engng. Chem., analyt. Ed. 16.

11. FISKE, C.H., SUBBAROW, J.: The colorimetric determination of Phosphorus. J. Biol. Chem., 66, 375 (1925).

12. FORBES, E.B., SCHULTZ, A., HUNT, C.H., WINTER, A.R., REMLER, R.F.: The mineral metabolism of the milk cow. J. Biol. Chem., 52, 281 (1922).

13. FOURNIER, P., DUPUIS, Y.: Une méthode d'évaluation indirecte du taux de l'absorption des composés phosphorés a différent niveaux du tube digestif. J. de Physiolog., 45, 443 (1953).

14. HEUBNER, W., STADLER, H.: Biochem. Z., 64, 409, 422 (1914).

15. HEVESY, G.: Radioactive indivators. Interscience Publ. New York (1948).

16. HEVESY, G., HAHN, L., REBBE, O.: Excretion of Phosphorus. Biol. Medd. XIV, 3 København (1939).

17. KJERULF-JENSEN, K.: Excretion of Phosphorus by the bowel. Acta physiol. scand., 3, 1 (1941/42).

18. KLEIBER, M., SMITH, A.H., RALSTON, N.P., BLACK, A.L.: Radiophosphorus (P^{32}) as tracer for measuring endogenous Phosphorus in cow's feces. J. Nutr., 45, 253 (1951).

19. LENKEIT, W.: Der Hafer als Nahrungsmittel. Schaper, Hannover (1946).

20. LEVA, E., RAPOPORT, S.: J. Biol. Chem., 141, 343 (1941)

21. LOFGREEN, G.P., KLEIBER, M.: The availability of the Phosphorus in alfalfa hay. J. Anim. Sci., 12, 366 (1953).

22. LOFGREEN, G.P., KLEIBER, M.: Further studies on the availability of Phosphorus in alfalfa hay. J. Anim. Sci., 13, 258 (1954).

23. LOFGREEN, G.P., KLEIBER, M., SMITH, A.H.: The digestion and absorption of P^{32}-labeled Casein by the young calf. J. Nutr., 43, 401 (1951).

24. LOFGREEN, G.P., KLEIBER, M., SMITH, A.H.: The excretion of injected P^{32} into the gastrointestinal tract of the young calf. J. Nutr., 47, 561 (1952).

25. LÖRCHER, K.: Zur Resorption und Ausscheidung des Phosphors beim Tier. Med. vet. Diss. München 1959.

26. LUICK, J.R., LOFGREEN, G.P.: An improved method for the determination of metabilic fecal Phosphorus. J. Anim. Sci., 16, 201 (1957).

27. McCANCE, R.A., WIDDOWSON, E.M.: Biochem. J., 29, 2694 (1935).

28. McCANCE, R.A., WIDDOWSON, E.M.: Biochem. J., 29, 2644 (1935); J. Physiology., 101, 44, 304 (1942); Nature, 153, 650 (1944).

29. MØLLGAARD, H., LORENZEN, K., HANSEN, J.G., CHRISTENSEN, P.E.: Biochem. J., 40, 589 (1946).

30. MOORE, J.H., TYLER, C.: Studies on the intestinal absorption and excretion in the pig. Brit. J. Nutr., 9, 81 - 93 (1955).

31. NICOLAYSEN, R.: The influence of Vit. D on the fecal cutput of Calcium and Phosphorus in the rat. Biochem. J., 31, 107 (1937).

32. NUTRIENT REQUIREMENT FOR SWINE: National Research Council Pub. No. 295 (1953). USA.

33. PARTHASARATHY, D., GARTON, G.A., PHILIPSON, A.T.: The passage of Phosphorus across the rumen epithelium of sheep. Biochem. J., 52, XVI (1952).

34. PASTERNAK, S.: C. Rend. Acad. Sci. Paris, 169, 138 (1919), Helv. chim. Akta, 4, 150 (1921).

35. PASTERNAK, S., PASTERNAK, Th.: C. Rend. Acad. Sci. Paris, 186, 261 (1928).

36. PLUMLEE, M.P., JORDAN, C.F., KENNINGTON, M.H., BEESON, W.M.: Availability of the Phosphorus from various phosphate materials for swine. J. Anim. Sci., 17, 73 (1958).

37. RANN, A., CHENG, E., WISE, A., BURROUGHS, J.: J. Agric. Food. chem., 4, 869-71 (1956).

38. SCARISBRICK, R., EWER, T.K.: The absorption of inorganic Phosphate from the rumen of the sheep. Biochem. J., 49, LXXIX (1951).

39. SCHORMÜLLER, J., HÖHNE, R., WÜRDIG, G.: Untersuchungen zur Bestimmung des Phytins. Z. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 9, 213 (1956).

40. SCHORMÜLLER, J., HUTH, H.: Z. Lebensmittel-Unters. und Forschung, 99, 280 (1954).

41. SCHORMÜLLER, J., LAHMANN, E.: Z. Lebensmittel-Unters. und Forschung, 100, 114 (1955). 103, 211, (1956).

42. SEUSS, H.: Med. vet. Diss. München, (noch unveröffentlicht).

43. SMITH, A.H., KLEIBER, M., BLACK, A.L., LUICK, J.R.: Transfer of Phosphate in the digestive tract. I. Swine J. Nutr., 57, 497 (1955).

44. TILLMAN, A.D., BRETHOUR, J.R.: Dicalciumphosphate and phosphoric acid as Phosphorus sources for beef cattle. J. Anim. Sci., 17, 100 (1958).

45. WEISER, K., ZAITSCHECK, L.: Ca-, P- und N-Ansatz bei Schweinen in verschiedenem Lebensalter. Fortschr. Landw., 3, 451 (1928).

46. WENIGER, J.H., FUNK, K.: Untersuchungen über den Ca- und P-Gehalt ganzer Schweinekörper. Archiv für Tierernährung, 3, 325-341 (1953).

47. WERTUNOW, A.J.: Allunions-Inst. exp. Veterinär-med. (Sammlung von Arbeiten), 5-13 (1957).

48. WÖHLBIER, W., KIRCHGESSNER, M.: Zur Frage der Mengen- und Spurenelementversorgung der Schweine bei der Getreideschnellmast. Z. Tierernährung und Futtermittelkunde, 12, 143 - 55 (Juni 1957).

Am Schluß meiner Arbeit möchte ich dem Vorstand des Instituts, Herrn Professor Dr. Dr. Johs. Brüggemann, für die freundliche Überlassung des Themas sowie für die großzügige Unterstützung und Förderung meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Herrn Priv. Doz. Dr. Kurt Bronsch gilt mein Dank für die Anleitung und für die vielen guten Ratschläge, die er mir zuteil werden ließ.

LEBENSLAUF

Am 4. Januar 1928 wurde ich in Sulz am Neckar geboren, wo meine Eltern, August Bootz und Frida Bootz geborene Höhn auch heute noch wohnhaft sind.

In Sulz besuchte ich die Volksschule und das Progymnasium. Später trat ich in die Oberschule für Jungen in Rottweil ein. Von dort aus wurde ich im Januar 1945 aus der 7. Klasse zur Wehrmacht einberufen. 1946 kehrte ich aus englischer Gefangenschaft zurück und war anschließend zwei Jahre als landwirtschaftlicher Lehrling auf württembergischen Gutsbetrieben tätig. Daraufhin war ich Hörer an der Höheren Landbauschule Nürtingen, wo ich die Zulassung zum Studium der Landwirtschaft erwarb. Um die Möglichkeit zur Promotion zu erhalten, legte ich vor dem Kultusministerium eine Begabtenprüfung für die Fachrichtung Landwirtschaft ab.

Nach dem landwirtschaftlichen Staatsexamen war ich bis 1957 als Gutsverwalter tätig.

Im April 1957 unterzog ich mich vor dem Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus einer Prüfung zur Zulassung zum tierärztlichen Studium ohne Reifezeugnis und studierte anschließend in München Tierheilkunde. Im Dezember 1961 bestand ich dort die tierärztliche Prüfung.